

## PRÓLOGO

### «GRAN CIENCIA» Y POLÍTICA, UN MATRIMONIO DE CONVENIENCIA

A finales del año 1947, en los Bell Labs, laboratorios de investigación de una gran empresa privada, A.T.&T., se dio a conocer un dispositivo electrónico, el transistor bipolar, que motivaría en los años posteriores una verdadera revolución en nuestra vida cotidiana. Aquel primer dispositivo fue fabricado empleando una pieza de germanio de alta calidad, que sus inventores solicitaron a la Universidad de Purdue. La foto de ese famoso transistor se muestra en la figura P.1.

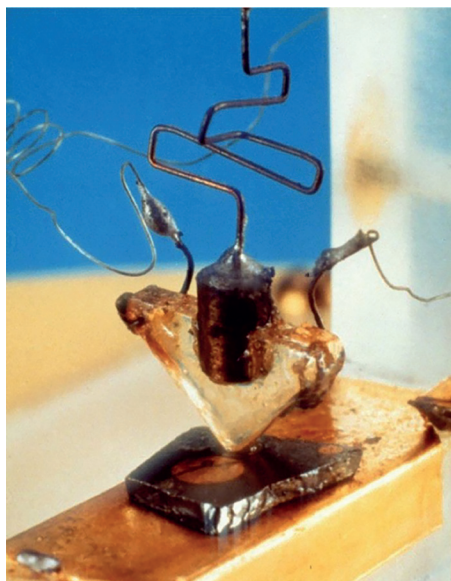


Figura P.1. Imagen del primer transistor de puntas de contacto de la historia, que fue realizado sobre una muestra de Ge suministrada por la Universidad de Purdue<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Inventing the Transistor. Computer History Museum (<http://bit.ly/2ZD3ca3>).

Cuando estaba escribiendo la historia de esa invención me surgió la pregunta natural: ¿por qué la Universidad de Purdue disponía del mejor germanio que se podía encontrar en aquellos años? Purdue es una universidad importante, pero no está entre las más célebres de EE. UU. No es Harvard, Princeton, Stanford o el MIT, no figura en las primeras posiciones de ningún ranking, etc. Las razones se irán desgranando en el capítulo 5 de este libro, pero ya adelanto que guarda relación directa con la respuesta a otras de las muchas preguntas a las que esta obra también pretende dar respuesta: ¿qué papel jugó esa universidad y otras, así como diversas empresas en el desarrollo del radar en los años de la Segunda Guerra Mundial? ¿Por qué se recurrió a centros de investigación académicos para poner a punto una de las armas decisivas utilizadas en ese conflicto? ¿Cómo se financiaron esas investigaciones? ¿Qué repercusiones tuvo en el mundo de la posguerra?

Podemos plantear las preguntas desde una perspectiva más general: a lo largo de la historia, ¿qué papel ha jugado la «Gran Ciencia» en la consecución de determinados objetivos, tanto pacíficos como militares? Bajo la expresión «Gran Ciencia» (traducción literal de *Big Science* del inglés) se describe y engloba una serie de decisiones tomadas en ciertos países industrializados para poner en marcha grandes proyectos científicos multidisciplinarios. Esta forma de abordar retos de gran calado motivó toda una serie de cambios metodológicos y de política científica que tuvieron lugar, principalmente, durante y con posterioridad a la Segunda Guerra Mundial. Podríamos definir la «Gran Ciencia» como un programa de investigación científica que, realizado a gran escala, involucra multitud de proyectos financiados generalmente por un gobierno o un grupo de gobiernos, implicando a gran número de científicos de una amplia variedad de campos del conocimiento, que convergen hacia un fin concreto, que en el caso que abordaremos en este libro es evidente: ganar la guerra.

Dentro de esta idea podemos englobar cronológicamente programas tales como el Proyecto Manhattan para la consecución de la bomba atómica, el Programa Apolo, el Telescopio Orbital Hubble, la Estación Espacial Internacional, el Gran Colisionador de Hadrones, el reactor de fusión ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor, Reactor Experimental Termonuclear Internacional), el telescopio James Web, o muy recientemente, la búsqueda de la vacuna frente al SARS-CoV-2. Curiosamente, no se suele incluir en esta lista el programa que EE. UU. y Gran Bretaña desarrollaron durante la Segunda Guerra Mundial para construir radares de altas prestaciones. Y, sin embargo, ese programa –una de las

cuestiones centrales de este libro— recibió una cantidad de fondos mayor incluso que el muy famoso Proyecto Manhattan.

Así pues, esta es la historia de un proyecto de «Gran Ciencia», que nació impulsado por las urgencias defensivas de un país (Gran Bretaña), que buscó el apoyo de los EE. UU. para llevar a término un programa que dadas las circunstancias en las que se encontraba a finales de 1940 no podía encarar con sus propios recursos.

Es bien conocida la enorme influencia que la Segunda Guerra Mundial tuvo en el desarrollo de diversos campos de la física<sup>2</sup>, en particular la física atómica y nuclear, que mediante el Proyecto Manhattan alumbró la bomba atómica, una vez que se conocieron en profundidad los procesos involucrados en la fisión de los núcleos del uranio y el plutonio. Ese programa ilustra muy bien cómo el enorme potencial industrial y militar de los EE. UU. se puso al servicio de la guerra en un tiempo récord, cosa que también sucedería con el programa del radar.

Vamos al detalle: este libro comenzó siendo un artículo que publiqué en la primavera de 2019 en un periódico generalista<sup>3</sup>. Al buscar documentación para ese texto, la cantidad de material que fui encontrando era enorme, lo que me empezó a apabullar porque parecía no tener fin (hoy en día lo puedo confirmar: no tiene fin). Según avanzaba en la búsqueda, otro detalle me llamó la atención: la gran mayoría de la información se encuentra recogida en publicaciones de difusión muy limitada, la mayoría de las cuales están escritas en inglés. A la vista del volumen que iba alcanzando mi carpeta de documentos y alguna estantería de mi biblioteca, decidí que esta historia se merecía bastante más que un artículo, por lo que emprendí la tarea de escribir este texto. Esto además me ha permitido llenar una laguna: que yo sepa, no hay ningún libro publicado en castellano que aborde la historia que aquí se cuenta. En este sentido, este es el libro que me hubiera gustado leer sobre esta cuestión y que, sin embargo, no encontré. Sí que he encontrado numerosos textos que abordan muchas de las cuestiones que se cubren en sus diversos capítulos, pero no un acercamiento global a su temática.

---

<sup>2</sup> J. M. Sánchez Ron, *El poder de la ciencia*, recogido en la bibliografía. Se dice, con toda la razón, que la Segunda Guerra Mundial fue la «Guerra de los físicos» por el papel tan relevante que estos jugaron en su desenlace. De igual forma, se suele decir que la Primera Guerra Mundial fue la de los químicos.

<sup>3</sup> Ignacio Mártel, «Un binomio de éxito: cómo el radar y los semiconductores acabaron con el III Reich». *El Confidencial*, 19-abril-2019 (<https://bit.ly/3l8kbwq>).

## 1. EL PROGRAMA DEL RADAR EN LOS TIEMPOS DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Cuando analizamos las luchas por la supervivencia del mundo animal, observamos que la visión es la facultad más valiosa que puede poseer un ser vivo, con gran ventaja frente a otras. Ciertamente, el oído y el olfato también aportan ventajas, pero casi insignificantes en comparación con la vista. La introducción del radar en los campos de batalla de la Segunda Guerra Mundial puede y debe considerarse como una nueva *forma de ver*. Como tendremos ocasión de analizar en los capítulos 3, 6, 7 y 8, su uso alteró las tácticas y estrategias seguidas por los contendientes y lo hizo de una forma más profunda que cualquiera de los demás sistemas de armas que se utilizaron durante el conflicto. Se suele decir que el radar fue el arma que ganó la guerra y el invento que cambió el mundo. Como veremos en diversos capítulos, es cuestionable afirmar categóricamente que ganó la guerra, mejor habría que decir que en ciertos escenarios ayudó decisivamente al bando aliado a obtener la victoria. En relación a la segunda parte de la afirmación, efectivamente, el radar ayudó sin duda a cambiar el mundo. Lo veremos en el último capítulo.

Poder detectar (y, en cierto sentido, ver) a un adversario en la oscuridad, en la niebla, o a distancias difíciles o imposibles de alcanzar con el mejor equipo óptico era totalmente revolucionario, no tenía precedentes. Esto es lo que puede hacer el radar, acrónimo de Radio Detecting And Ranging, que puede traducirse por «detección y medida de distancia mediante ondas de radio». Cronológicamente, esta no fue la primera forma de nombrar a este sistema: inicialmente se denominó con las siglas RDF (Radio Direction Finding); posteriormente, el Cuerpo de Señales de la marina de los EE. UU. lo denominó RPF (Radio Position Finding). Finalmente, un oficial de la Marina de los EE. UU., S. M. Tucker, fijó la definición de radar que se adoptó oficialmente en noviembre de 1940. Los británicos adoptaron esa nomenclatura a partir de julio de 1943 y hoy día es universal.

Lo que voy a contar en estas páginas es la historia de su invención y desarrollo, que comienza con la formulación, en la segunda mitad del siglo XIX, de las ecuaciones de Maxwell –que sentaron las bases científicas que lo posibilitaron– y llega hasta los años inmediatamente posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Este es, no se olvide, un período histórico que abarca los años comprendidos entre 1860 y 1950, que cambió profundamente la forma en la que los seres humanos entendemos la vida y la sociedad. No se olvide tampoco que en ese intervalo de tiempo se modificaron drásticamente la estrategia y la tecnología militar.

Una de las muchas consecuencias que se derivaron del programa del radar es que la física y la tecnología de los semiconductores dieron un salto de gigante, junto con avances enormes en otros campos, entre los que podemos citar dos que aparecerán en este libro: la transmisión de ondas electromagnéticas y la teoría de la rectificación de señales eléctricas. En la figura P.2 se muestran los dos dispositivos alrededor de los cuales se nuclea varios capítulos y apéndices del libro: el célebre magnetrón de cavidades resonantes (encargado de emitir ondas electromagnéticas de alta frecuencia) y el detector de las señales de retorno provenientes de un blanco, denominado *crystal detector*. Es asombroso que dispositivos tan minúsculos movilizaran una cantidad tan ingente de recursos de todo tipo: económicos, científicos, industriales, etc.

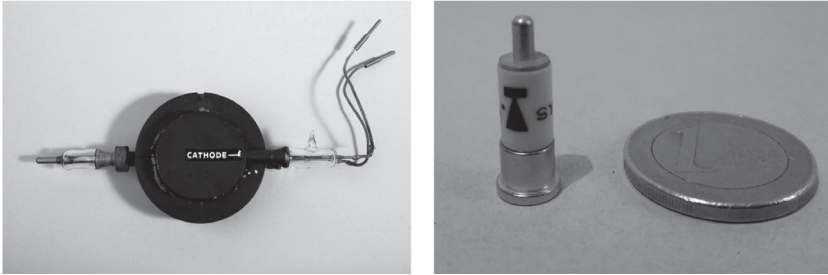


Figura P.2. Izquierda: imagen de uno de los primeros magnetrones fabricados al amparo del programa del radar<sup>4</sup>, el tamaño del disco central es de 8 cm de diámetro. Derecha: uno de los diodos finales del programa del radar en EE. UU., el 1N23C. De mi colección personal.

El fruto inmediato de ese esfuerzo fue la utilización en el campo de batalla, en el plazo de poco más de dos años, de numerosos equipos radar de prestaciones muy superiores a los que tuvieron Alemania o Japón (como veremos en el capítulo 8, el uso del radar por parte del ejército japonés puede calificarse de anecdótico).

Además, la formación de una vasta red de investigadores con conocimientos de vanguardia en diversas ramas del conocimiento, y en particular en la electrónica de semiconductores, creó un contexto de fuerte competencia industrial en los años inmediatamente posteriores al final de la guerra, lo que ayudó a los Bell Labs a retomar una idea que se acariciaba desde los años treinta: establecer un programa de investigación orientado a la obtención de un dispositivo amplificador capaz de sustituir a la válvula

<sup>4</sup> MIT Museum, «Cavity Magnetron, Model CV-56» (<https://bit.ly/3NgWRH>).

de vacío, programa del que surgió el transistor bipolar de puntas de contacto en diciembre de 1947. Las conexiones entre la investigación realizada en los años de la guerra sobre rectificadores basados en semiconductores y la invención del transistor en la posguerra ofrecen un ejemplo particularmente rico y esclarecedor del impacto que el conflicto tuvo en esta rama de la ciencia<sup>5</sup>. Lo veremos con más detalle en el último capítulo del libro.

## 2. EL RADAR EN LA ACTUALIDAD

Para comprender qué papel juega el radar en nuestra vida cotidiana, nada mejor que aportar algunos datos sobre el tráfico aéreo en los aeropuertos de todo el mundo: un día cualquiera vuelan por todo el planeta más de 100.000 aviones y, en determinadas épocas del año, pueden llegar a alcanzar la impresionante cifra de 200.000. ¿Cómo es posible gestionar esa ingente cantidad de aeronaves de forma segura? Pues gracias al radar. Pero sus capacidades no se quedan ahí; abarcan muchos otros aspectos, que solo detallo de manera muy sucinta:

*Control de tráfico y navegación aérea.* Los radares se emplean en todo el mundo con el propósito de controlar de manera segura el tráfico aéreo en vuelo y en las proximidades de los aeropuertos. El tráfico de aeronaves en los grandes aeropuertos se controla mediante radares de alta resolución. El radar se utiliza para guiar de forma segura el aterrizaje de las aeronaves, especialmente en condiciones de mal tiempo. También se utiliza para guiar en vuelo a los aviones por ciertas regiones cuando las condiciones climáticas son adversas.

*Seguridad naval.* El radar se utiliza para mejorar la seguridad de la navegación marítima, pues permite advertir y evitar posibles colisiones con otros barcos y también sirve para detectar boyas de navegación, especialmente en condiciones de baja visibilidad. En términos cuantitativos esta es una de las aplicaciones más frecuentes del radar, pero en términos del tamaño físico del equipo y de su coste es una de las más reducidas. El radar terrestre, de resolución moderadamente alta, también se utiliza para la vigilancia de puertos como un sistema de ayuda para incrementar la seguridad en las maniobras de aproximación a puerto.

*Control y vigilancia de tráfico terrestre.* Es bien conocido el amplio uso del radar para medir la velocidad de los automóviles por parte de las policías que gestionan y controlan el tráfico de carreteras.

---

<sup>5</sup> Artículo de Lillian Hoddeson, «Research on crystal rectifiers during World War II and the invention of the transistor», recogido en la bibliografía.

*Espacio.* Los vehículos espaciales han utilizado el radar para encontrarse y atracar en la Estación Espacial Internacional, por ejemplo, y para aterrizar en la Luna. Algunos de los radares terrestres con las antenas más grandes se utilizan para la detección y seguimiento de satélites.

*Radar meteorológico.* Se usa para predecir las lluvias en una determinada región, entre otras utilidades.

*Detección remota.* Todos los radares son sistemas de detección remota; en geofísica y física del aire se utiliza como sistema de detección de objetos geofísicos o del clima. La teledetección con radar también se ocupa de los recursos de la Tierra, que incluyen la medición y cartografía de los recursos hídricos, el grosor de la capa de hielo, la agricultura, las condiciones forestales, las formaciones geológicas, la detección de yacimientos minerales y la contaminación ambiental.

*Radar militar.* Todas las aplicaciones señaladas en los párrafos anteriores surgieron de las aplicaciones militares que, de hecho, fueron el origen del radar, tal y como veremos en este libro. Una lista no exhaustiva de esas aplicaciones es la siguiente:

- i. Defensa aérea (de superficie)
  - Vigilancia aérea a largo, medio y corto alcance.
  - Guiado y espoleta de misiles tierra-aire.
- ii. Defensa aérea (aerotransportada)
  - Vigilancia aérea (AWACS, acrónimo de Airborne Warning And Control System).
  - Guía de misiles aire-aire y aire-tierra.
- iii. Defensa contra misiles balísticos
  - Alerta temprana.
  - Vigilancia espacial y antisatélite.
- iv. Guerra terrestre
  - Vigilancia en el campo de batalla de objetivos fijos y móviles.
  - Detección y localización de morteros y artillería.
  - Detección de minas.
  - Guía de misiles de todo tipo (antiaéreos, anti carros, etc.)
- v. Guerra naval de superficie
  - Vigilancia de superficie.
  - Guerra antisubmarina.

Las aplicaciones militares descritas representan, con mucho, los mayores usos del radar. La figura compuesta P.3 muestra algunos de ellos.



Figura P.3. Imagen compuesta<sup>6</sup> que muestra diversos equipos actuales de radar, en la variedad de usos en los que se emplean: de izquierda a derecha y de arriba abajo: radar de control de tráfico aéreo; radar meteorológico; radar de control de velocidad; radar militar AN/TPS-78 de alerta temprana terrestre; imagen artística de la situación de la antena del radar del avión de combate europeo Eurofighter.

<sup>6</sup> Radar de control de tráfico aéreo (<http://bit.ly/3qH8Gww>); radar meteorológico (<http://bit.ly/3dzLqWA>); radar de vigilancia de tráfico (<http://bit.ly/2ZETHAM>); radar militar AN/TPS-78 (<http://bit.ly/37CpNbg>); antena del radar del caza Eurofighter (<https://bit.ly/3aDeDVA>).