

LA LANZA Y EL ESCUDO
(LA INGENIERÍA DE SISTEMAS DE DEFENSA)

Excelentísimo Señor Presidente de la Academia de Ingeniería;
Excelentísimos e Ilustrísimos Señores;
Señoras y Señores:

Sean mis primeras palabras de agradecimiento, por su presencia, a todas las autoridades, compañeros, amigos y familiares que han tenido la amabilidad de acompañarme en este día, para mí, tan importante.

Señores académicos:

Hay pocas distinciones tan honrosas para un ingeniero como la de haber sido elegido miembro de la Academia de Ingeniería de España, única de ámbito nacional instituida bajo la monarquía de Juan Carlos I.

Asumo este gran honor con agradecimiento a vuestra benevolencia por haberme elegido y con satisfacción, y también humildad, por haberme invitado a pertenecer a una corporación cuyos miembros han alcanzado, a lo largo de su vida profesional, una altura científica y técnica que estimo lejos de mis logros personales.

En el momento de mi elección, en marzo del pasado año, estaba al frente, como Inspector, del Cuerpo de Ingenieros Politécnicos del Ejército, antes Cuerpo de Ingenieros de Armamento y Construcción, creado para perpetuar la tradición de los antiguos ingenieros militares y viejos artilleros, como rezaba el preámbulo de la ley de su creación de 1940. Soy consciente de la gran responsabilidad que he contraído al representarlo en cierto sentido, y, por extensión, a toda la Ingeniería de Defensa, papel que compartiré con el académico D. Andrés Ripoll Muntaner, a quien agradezco la amabilidad de haber aceptado contestar a mi discurso de ingreso.

Introducción

El discurso, en consecuencia, versará sobre la Ingeniería de Defensa, presentada esquemáticamente, desde sus orígenes hasta nuestros días, y teniendo presente que Ingeniería militar –como, con gran erudición, fue recogido por el Profesor D. Manuel Silva Suárez en su magnífico discurso de ingreso en esta Academia– fue la única acepción de la palabra *Ingeniería* durante mucho tiempo.

Así, Sebastián de Covarrubias, en su libro de la *Lengua Castellana* de 1611, llama ingeniero «al que fabrica máquinas para defenderse del enemigo y ofenderle». Términos parecidos se recogen en el *Diccionario Castellano* de Terradas de 1786 o en las acepciones de la Real Academia Española, desde su cuarta edición de 1803, en la que se introduce el término por primera vez, hasta la decimotercera de 1884 en que como acepción única de *Ingeniería* aparece «arte que enseña a hacer y usar las máquinas y trazas de guerra», definición que también recoge el *Diccionario Espasa-Calpe* en su edición de 1922. No sin cierto asombro, hay que esperar prácticamente a las ediciones de la RAE del siglo xx, para encontrar la definición de *ingeniero* separada de su exclusiva aplicación a la Defensa.

La aparición de la Ingeniería civil, como es sabido, se realiza fundamentalmente a lo largo de los siglos xix y xx, en que van surgiendo las distintas ingenierías en sus diversas especialidades: Minas, Caminos, Montes, Industriales, Agrónomos, Geógrafos, Navales, Telecomunicaciones, Aero-náuticos, ICAI... desgajándose, en ocasiones, de los cuerpos técnicos militares o, a veces, con la participación directa de insignes ingenieros de los Ejércitos de Tierra, Mar o Aire.

Otro aspecto interesante, interno de los ejércitos, es el de las dos ramas tradicionales de la Ingeniería militar y que han sido representadas, a lo largo de la Historia, por los Cuerpos de Artillería y de Ingenieros Militares en el Ejército de Tierra (en la Armada serían el Cuerpo de Artillería de Marina, luego de Armas Navales, y el de Ingenieros de la Marina, luego de Ingenieros Navales).

Estas dos ramas se constituyen como cuerpos facultativos, claramente separados, con la llegada de los Borbones en el siglo xviii. Pero, a lo largo de la historia precedente, estas dos facetas de la Ingeniería militar, el ataque y la defensa, el armamento y la construcción, el arma y la coraza, la lanza y el escudo (que titulan este discurso) han estado con frecuencia asumidas por las mismas personas, los mismos técnicos, que actuaban, bien como «artilleros», bien como «ingenieros», en función de la tarea a desempeñar en cada momento. Antes de la modernización borbónica, los ingenieros militares actúan como individuos aislados sin organizarse en un cuerpo específico, generalmente a las órdenes directas del Rey o sometidos, la mayoría de las veces, a la autoridad de los Capitanes Generales de

Artillería, que, frecuentemente, tenían también el cargo de Inspectores Generales de Fortificación.

Recientemente ha surgido una tercera rama de la Ingeniería militar que, apoyándose en el desarrollo de la electrónica, es responsable de los Sistemas de Mando y Control de las Fuerzas Armadas a través de las Nuevas Tecnologías de la Información y de las Telecomunicaciones. Esta tercera especialidad, del cuerpo al que pertenezco, es responsable de la adecuada utilización de un nuevo recurso que también tiene tratamiento ingenieril: la información, que igual que los otros dos recursos, la materia y la energía, se obtiene, se transporta, se almacena y se procesa.

La utilización de la información como recurso tecnológico ha propiciado la aparición de las distintas escuelas sistémicas y, en particular, de la Ingeniería de Sistemas y, todo ello, en una clara convergencia entre los mundos de la Ingeniería al servicio civil de la sociedad y la Ingeniería al servicio de la Defensa, convergencia que se manifiesta en múltiples aspectos y que, con cierta imaginación, nos recuerda la época en que la Ingeniería era una sola.

Lo arriba recogido va a ser el hilo conductor de mis palabras, que estarán influidas por los dominios en que he profundizado mis conocimientos de Ingeniería militar, así como en los que he realizado mi labor docente, en la Escuela Politécnica Superior del Ejército, en la Escuela de Guerra Naval y en la Universidad Autónoma de Madrid. Estos dominios se concretan en la ayuda cuantitativa a la toma de decisiones y en la Ingeniería de Sistemas de Defensa.

Y también, como es lógico, estarán influidas por mis orígenes de Artillero y por mi formación básica de Ingeniero de Armamento.

La artillería

Define la Real Academia Española a la *Artillería* como «el arte de construir, conservar y usar todas las armas, máquinas y municiones de guerra». Esta definición, aunque antigua en su expresión, recoge conceptos de una gran modernidad, pues contempla los tres aspectos de lo que hoy llama-

mos *Ingeniería Concurrente*: el construir, es decir, fabricar; el conservar, es decir, mantener; y, finalmente, el usar. Como es sabido, la Ingeniería de Sistemas de Armas debe contemplar en paralelo el ciclo de vida del sistema propiamente dicho, el de su sistema de producción y el de su sistema de mantenimiento que, relacionados a través de información compartida a lo largo de su evolución en el tiempo y con el empleo de tecnologías tipo CALS, que garantizan el apoyo logístico en todo el ciclo de vida, constituyen la Ingeniería Concurrente.

Está pues vigente esta definición de *Artillería* y a mí, he de confesarlo, me gusta citarla, en el sentido de que el Ingeniero de Armamento, al ocuparse de la fabricación y del mantenimiento de los Sistemas de Armas, ejerce una función claramente artillera.

Por otra parte, mirando hacia atrás en la Historia, un ilustre artillero, don Tomás de Morla, afirmaba que la Artillería era tan antigua como la querrela de los hombres.

Ello equivale a aceptar que era Artillería también el empleo y construcción de máquinas e ingenios anteriores a la invención de la pólvora, empleados para la defensa, sitio o expugnación de las plazas o puntos fuertes, y que lanzaban objetos a distancia utilizando procedimientos mecánicos.

En efecto, hay escritos del siglo XII y XIII que atestiguan la asignación del nombre de *artillería* a lo que normalmente denominamos *poliorcética*, *arte tormentaria* o *neurobalística*.

Pero es, sin embargo, la pólvora el elemento que caracteriza y da vida al concepto de Artillería tal como hoy la entendemos. Se pasó de la neurobalística a la pirobalística cuando a alguien se le ocurrió aplicar la energía cinética de los gases, de la combustión de la pólvora, al lanzamiento de bolas (de piedra o de hierro), situados ambos elementos (pólvora y proyectil) en un mismo tubo cerrado por uno de sus extremos.

Los cañones, así ideados, se incorporaron enseguida a los ingenios usados para el sitio y defensa de las plazas.

Dice Lewis Mumford en su libro *Técnica y Civilización* que la utilización de la pólvora en las armas de fuego tuvo un efecto triple:

En primer lugar, provocó un importante desarrollo de la siderurgia, pues creció notablemente la demanda de hierro y se perfeccionó su tratamiento, ocurriendo lo mismo con la metalurgia del cobre.

En segundo lugar mejoró el arte de la fortificación (al perfeccionarse el arma, debía perfeccionarse la coraza).

Y, por último, el cañón resultó ser precursor del motor de combustión interna. Los intentos de explicar y dominar dicha combustión condujeron al descubrimiento del oxígeno, entre otros muchos progresos científicos.

Además de estos interesantes efectos, me gustaría agregar otros aspectos de la Artillería que considero de interés:

Si en la Era Agrícola (1ª Ola en la terminología toffleriana) el hombre puso el énfasis en la utilización de la materia; en la Revolución Industrial (2ª Ola de Toffler) lo puso en la utilización de la energía; y, hoy en día, en la 3ª Ola, como ya hemos dicho, lo hace en la información; hemos de aceptar que, bajo este esquema, los artilleros se adelantan a la Revolución Industrial, al poner su atención preferente en el uso de la energía desarrollada en la combustión de la pólvora, primero en su aspecto impulsor y luego, al incorporarla al proyectil, en su aspecto explosivo.

Al mismo tiempo, el ingeniero-artillero adopta una actitud renacentista, pues ha de acumular y aunar conocimientos hasta entonces separados y que se corresponden con el mundo de la siderurgia, la mecánica y la física (para la fabricación de la boca de fuego) y con el mundo de la química (para la fabricación de la pólvora y de los explosivos). A estos conocimientos debe añadir los de una ciencia emergente, la balística, en cuyo seno se aplican y desarrollan las matemáticas, la geometría, la topografía, la cinemática, la dinámica de fluidos, etc.; disciplinas que también han de aplicarse en el Arte de la Fortificación.

No me resisto a citar aquí que ese talante intelectual, que se traduce en un ansia de saber y de relacionar conocimientos, no hace más que tratar de copiar a personajes del Renacimiento italiano de la talla de Leonardo da Vinci, principalmente en los trabajos y estudios sobre armamento y fortificación, realizados para Ludovico Sforza en Milán, en que se vislumbran

armas como el revólver, el cañón de retrocarga, la granada, el carro de combate o el submarino. O como el geómetra Nicolo Fontana, apodado *Tartaglia*, cuyo libro *La Nueva Ciencia* puede ser considerado el primer tratado de balística, donde describe matemáticamente lo que llamó «el camino de la bala», es decir, la trayectoria del proyectil.

Por último, destaquemos que el tener que hacer y usar el arma exige al artillero unir, a sus conocimientos científicos, el ejercicio de las virtudes militares.

Algo de historia hasta el siglo xviii

Veamos sucintamente la historia de estos insignes predecesores en el arte de la Ingeniería militar.

Como es sabido, a España llegó la pólvora de mano de los árabes, considerándose que la primera aplicación contrastada –quizá en toda la Europa cristiana– de que se estaba usando verdaderamente pólvora, es decir, una mezcla adecuada de carbón, azufre y salitre (o sea, nitrato potásico y no sal común, la que daba lugar a simples artificios incendiarios) fue en el sitio de Alicante en 1331, realizado por el Rey moro de Granada.

Poco después, al sitiar los moros Tarifa en 1340 y acudir Alfonso XI en su socorro, tiene lugar la Batalla del Salado, donde, derrotados los musulmanes, caen en poder de los cristianos todos sus pertrechos, entre los cuales estaba su incipiente artillería. A partir de este momento, y comprobados los extraordinarios efectos de la misma, los reyes cristianos, tanto en Castilla, como en Aragón y Navarra, se esfuerzan en contar con estos nuevos elementos de guerra para sus distintas campañas, y ya no se concibe, desde entonces, el ataque y la defensa de una plaza fuerte sin el empleo de estos ingenios.

Estas primeras piezas de artillería eran de hierro forjado que, a martillazos, recibían la forma que se desease –ligeramente troncocónica para evitar que el proyectil se atascase– y luego se soldaban a base de caldas y martillo.

Los primeros cañones obtenidos por fundición son de la época de los Reyes Católicos, y resultaban ser, al principio, de baja calidad al no cono-

cerse bien la dosificación adecuada de hierro y de carbono. Había también piezas de bronce que eran bastante más caras que las de hierro, pero más fáciles de fundir y más resistentes a la corrosión.

Es durante el reinado de estos Reyes cuando se organiza definitivamente la Artillería en España, desempeñando un papel primordial en la conquista de Granada y en las campañas de Italia. Los Reyes la tenían en gran estima y, siendo conscientes de su capital importancia, al igual que otros monarcas, hicieron lo posible para reservarse la exclusividad de su fabricación, mantenimiento y uso. La Artillería se convierte así en la «última ratio regis» y de todos es conocida la famosa frase del Cardenal Cisneros que, nombrado regente, para imponer su autoridad ante los nobles de espíritu levantisco, les muestra los cañones reales al tiempo que les manifiesta: «Éstos son mis poderes».

Respecto a la conquista de América, donde las armas de fuego van a desempeñar un importantísimo papel, es de destacar cómo se enfrentaron aquellos pocos hombres con el problema de su fabricación y de su mantenimiento, realizando el apoyo logístico sobre el propio terreno. Citaré rápidamente dos ejemplos entre los miles que podrían recogerse:

El primero es la subida al volcán Popocatepetl y el descenso a su cráter, realizado por tres polvoristas artilleros de Hernán Cortés, con el objeto de obtener el azufre que necesitaban para fabricar la pólvora «in situ». La hazaña deja atónitos a los indios y, debe reconocerse, que aquellos hombres unían, al conocimiento, la virtud de la heroicidad.

Otro ejemplo es el del artillero Pedro de Candía, tercero de los trece de la fama que, antes de la conquista de Perú, cruzan la raya trazada en la arena de la isla del Gallo por Francisco Pizarro (el primero fue el mismo Pizarro y el segundo fue el piloto Bartolomé Ruiz). Pues bien, Candía, a lo largo de la conquista emprendida y vicisitudes consiguientes, fabrica, no sólo la pólvora, sino que, puestas en explotación por los españoles riquísimas minas de cobre, hierro y plomo, fabrica piezas de gran calibre que, según cartas recibidas por el Emperador Carlos, nada tenían que envidiar a las mejores construidas en España.

Lo cierto es que, a lo largo del siglo xvi, se construyen en diversos lugares de España maestranzas y fundiciones, destacándose las de Medina

del Campo, Málaga y Barcelona, a las que se unieron pronto la de bronce de Sevilla y la de hierro colado en Vizcaya.

Se crean también Escuelas de Artillería, en Burgos, Sevilla, en las principales fortalezas y en Barcelona.

La Artillería española, que había conseguido su hegemonía europea con el Gran Capitán, después de las Batallas de Ceriñola y Garellano, en lo referente a su empleo, mantiene también un destacado puesto, a finales del siglo XVI y a lo largo del XVII, en el campo teórico, gracias a un pequeño pero prestigioso grupo de tratadistas.

Debemos citar, al menos, los siguientes, con sus obras más famosas:

Xandoval de Espinosa. *Diálogo de Artillería*. Milán, 1584.

Luis Collado. *Plática Manual de Artillería*. Milán, 1592.

Andrés García de Céspedes. *Libro de instrumentos nuevos de Geometría con una cuestión de Artillería*. Madrid, 1606.

Diego Lechuga. *Trabajo de Artillería y de Fortificación*. Milán, 1611.

Diego Ufano. *Tratado de Artillería*. Bruselas, 1612.

Julio César Firrufino. *El perfecto artillero*. Milán, 1648.

Sebastián Fernández Medrano. *El práctico artillero y La arquitectura militar moderna*. Bruselas, 1680.

Estos prestigiosos ingenieros-artilleros imparten sus cursos y se estudian sus libros, además de en las Escuelas de Artillería ya citadas, en las Academias de Matemáticas de Madrid, Milán, Bruselas y Barcelona, famosas hasta el punto de que el léxico técnico de Europa se llena de voces hispanas.

Se destacó, sobre todo, la Academia de Bruselas, dirigida por Sebastián Fernández Medrano, poseedor de grandes conocimientos matemáticos y autor de numerosas obras que se añaden a las ya citadas. En dicha Academia se aprendía geografía, matemáticas, geometría, topografía, balística, siderurgia, fortificación y artillería, recibiendo los alumnos al finalizar sus estudios el título de ingeniero.

En estas Academias se destaca el estudio de las matemáticas, geometría y resistencia de materiales para el diseño y construcción de fortalezas,

pues el progresivo perfeccionamiento de las bocas de fuego exigió mejorar el Arte de la Fortificación. A principios del xvi los italianos descubren que la tierra amontonada podía absorber el efecto de los disparos de cañón, por lo que las altas murallas de las roqueras defensas medievales van dando paso a taludes de pendientes pronunciadas y de poca altura. Se instala la artillería en plataformas avanzadas denominadas *baluartes*, y la fortaleza, convenientemente «abastionada», se convierte en un elemento esencial, tanto en la lucha por el dominio de Europa, como para reforzar la defensa de nuestras costas y fronteras, en España y en nuestras posesiones de África y América.

El esfuerzo que se realiza en fortificar es enorme y a nuestros ingenieros españoles, como Juan de Herrera y Cristóbal de Rojas (vinculados a la Academia de Matemáticas de Madrid, el primero como director y el segundo como profesor de Fortificación) hay que unir otros procedentes de fuera, como Juan Bautista Antonelli que dirige las fortificaciones de Cartagena, Orán y Alicante, y proyecta e inicia los castillos del Morro y de la Punta en La Habana, entre otros muchos.

A finales del siglo xvii, gracias a las aportaciones del Marqués de Vauban (que, por cierto, figuró en su juventud entre los ingenieros españoles) el Arte de la Fortificación alcanza su máximo esplendor y consagra los papeles, cada vez más diferenciados, del ingeniero militar y del artillero.

Siglo xviii (la Ilustración)

Comienza el siglo xviii y con él se produce el advenimiento de los Borbones en la figura de Felipe V. El preludeo de su reinado son los 14 años de la guerra civil de Sucesión pero, aún sin terminar ésta, el nuevo Rey acomete la reforma de sus ejércitos.

Así manda llamar de Flandes al ingeniero Jorge Próspero de Verboom, a quien le encomienda la organización del Real Cuerpo de Ingenieros, creándolo el 17 de abril de 1711, con clara separación de los cometidos del de Artillería.

Verboom recupera en 1720 la Real Academia de Matemáticas de Barcelona, imponiendo en la misma los textos y métodos que Fernández Me-

drano había empleado en la Academia de Bruselas, donde él se había formado.

Por otra parte, la llegada de los Borbones coincide con la culminación en Europa de un proceso intelectual, que venía desarrollándose a lo largo del siglo xvii, y que, basado en la confianza depositada en el saber científico, busca el progreso de la humanidad, el conocimiento de la naturaleza y sus leyes y la aplicación de las técnicas desarrolladas y de los descubrimientos realizados, para la mejora del bienestar individual y social.

Todo ello supone una preparación hacia la Revolución Industrial y en España, al igual que en otros países, se va a tratar de conseguir, a lo largo del xviii, por voluntad manifiesta de los reyes de la nueva dinastía reinante. Para ello se apoyarán en los cuerpos técnicos militares, algunos de cuyos miembros tendrán un papel destacadísimo en el desarrollo científico, tecnológico y cultural que supuso la Ilustración.

Así en 1718, Felipe V dicta una Real Ordenanza que asigna a los ingenieros militares funciones que no sólo rebasan a las estrictamente militares, sino que dan prioridad a las de construcción de obras públicas, dirigidas al «beneficio universal de los pueblos».

Posteriormente, en 1779, hay necesidad de reestructurar este cuerpo, agrupándolo en tres secciones:

- La de «Academias Militares», a cuyo frente es nombrado D. Pedro de Lucuce, ilustre jefe de la Real Academia de Matemáticas de Barcelona, y autor de *Principios de la Fortificación*. (Barcelona 1772).
- La de «Fortificaciones del Reino», que queda bajo la dirección del General D. Silvestre Abarca, autor del proyecto general de navegación y riego de Castilla La Vieja.
- La de «Caminos, Puentes, Edificios de Arquitectura Civil y Canales de Riego y Navegación», de la que fue su director el insigne ingeniero D. Francisco Sabatini y Siuliano.

No es pues extraño que sean ingenieros militares los proyectistas y directores de numerosas obras civiles de aquella época, costeadas con fondos del Estado y cuya lista sería interminable: la Puerta de Alcalá, el Palacio

de Aranjuez, la Fábrica de Armas de Toledo, la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla (hoy sede de la Universidad), el Arsenal de la Carraca, el Canal Imperial de Aragón, las carreteras de Galicia, Santander, Valencia y Andalucía, el Paseo del Prado de Madrid, la Fábrica de Porcelanas del Retiro, la Iglesia de San Francisco el Grande, la Aduana de Madrid (hoy Ministerio de Hacienda), múltiples canales de navegación (del Manzanares, de Castilla, del Guadalquivir) nuevos trazados urbanísticos, hospitales, escuelas, palacios, etc., etc.

Ejercieron además una importantísima labor cartográfica.

A pesar de esta extraordinaria labor, desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, no pudieron disponer de un centro de formación adecuado, es decir, de una Academia del Cuerpo de Ingenieros, hasta el siglo siguiente que, creada en 1803 por el General Urrutia de las Casas en Alcalá de Henares, se instala en Guadalajara en 1833, donde permanecerá mas de ochenta años, dando lugar a la formación de notabilísimas promociones.

Por otra parte, la creación del Cuerpo de Ingenieros de Marina –el que hoy conocemos como Ingenieros Navales– el 10 de octubre de 1770, y de su primera Escuela en Cádiz en 1772, luego trasladada a Ferrol, le va sustrayendo, paulatinamente, al Cuerpo de Ingenieros del Ejército, de asuntos relacionados con la construcción naval y las obras de los arsenales. (Curiosamente, los ingenieros de este nuevo Cuerpo de la Marina actúan también como Ingenieros de Montes, profesión que aún no existía, al exigírseles conocimientos sobre montes y bosques y encomendándoles la explotación de grandes extensiones forestales, con objeto de conseguir madera para la construcción naval).

Pues bien, la creación del Cuerpo de Ingenieros de Marina, así como la del Cuerpo de Artillería de Marina en 1717, son la manifestación de una eficaz y continuada política naval de 76 años de duración, llevada a cabo en los reinados de Felipe V, Fernando VI y Carlos III.

Durante este fructífero período tienen lugar las siguientes acciones que supusieron un cambio radical en la Armada: constitución del cargo de Ministro de Marina (en el que destacaron, sobre todo, D. José Patiño y el Marqués de la Ensenada que lo simultanearía con los de Hacienda y Gue-

rra); integración de todas las Armadas y Escuadras en una única Marina Real; creación de la Academia de Guardias Marinas y del Cuerpo General de la Armada; organización de los departamentos marítimos actuales, con sus respectivos apostaderos de Cádiz, Ferrol y Cartagena, y sus correspondientes arsenales de La Carraca (Cádiz), La Graña (Ferrol) y Cartagena, además del de ultramar de La Habana; y creación de los Cuerpos Técnicos citados: los que luego se llamarían Ingenieros Navales e Ingenieros de Armas Navales.

Aquella política dio sus frutos y tuvo como protagonistas de su implantación destacadas figuras, procedentes de su bien formada y entusiasta oficialidad, dignos representantes de la Ilustración en España.

Hay citas inevitables como la de Jorge Juan y la de Antonio de Ulloa. Ambos, de tenientes de navío, participan en la expedición del Marqués de la Condamine a Ecuador, para la medición de la longitud del grado del meridiano terrestre y conseguir, así, conocer la verdadera forma de la Tierra, que, como ya predijo Newton, resultó ser una esfera achatada por los polos.

Jorge Juan puede ser considerado el primer ingeniero naval español. Su libro *Examen Marítimo* es uno de los primeros tratados sobre la *Teoría del Buque*. Fue protegido y colaborador íntimo del Marqués de la Ensenada, a quien convenció de la necesidad de la creación del Observatorio Astronómico de Cádiz, que inicia sus observaciones el año 1753. Otro ilustre marino y científico, D. Vicente Tofiño, fue uno de sus directores.

Por otra parte, a Tofiño se le debe el levantamiento del *Atlas Marítimo de España*, realizado durante las campañas hidrográficas de 1783 a 1787. En los años siguientes, Malaspina, en su famosa expedición realiza los levantamientos de las costas de América y Oceanía.

La Dirección de Hidrografía, que se crea en Madrid en 1790, se responsabiliza de la edición y publicación de las cartas correspondientes, siendo el origen del actual Instituto Hidrográfico de la Marina, ubicado actualmente en Cádiz.

Respecto a la Artillería, el cuerpo que, a nuestro entender, siempre fue consciente que el conocimiento técnico y científico era su fuerza y presti-

gio, podemos decir que en este siglo XVIII, *Siglo de las Luces*, llega a su mayoría de edad. Y lo hace en los tres niveles citados del uso, fabricación y mantenimiento de los Sistemas de Armas.

Empieza Felipe V regulándola en una Ordenanza en 1716, en la que se constituye la Artillería de Campaña. Pero es principalmente Carlos III quien la organiza como Real Cuerpo en 1762 y crea el que sería famoso Real Colegio, luego Academia de Artillería, en el Alcázar de Segovia en 1764. Para ello se ayuda del que había sido Jefe de su Artillería en Nápoles, D. Félix Gazola, Conde de Gazola, primer Inspector General del Real Cuerpo.

En cuanto al empleo o uso de la Artillería, la mayoría de edad se manifiesta en su entrada en la composición de los ejércitos, actuando, a partir de entonces, como una tercera fuerza junto a la Infantería y la Caballería. La Artillería se había aligerado y normalizado en sus afustes, cureñas, carruajes y pertrechos, mejorando sus procedimientos de puntería (con el uso del alza) así como perfeccionando sus proyectiles, pólvoras y espoletas, al imponerse normas de estandarización, hasta entonces casi inexistentes. Todo ello cambia el Arte de la Guerra, con el abandono progresivo de la guerra de sitios y la generalización de los enfrentamientos en campaña.

Mientras, la Academia de Artillería, a la que siempre el Conde de Gazola apoyó con medios y personal, fue adquiriendo un gran renombre por la formación científica que impartía, hasta el punto que, a decir de Jorge Vigón, en su *Historia de la Artillería Española* (Madrid, 1947), «las más llinajudas familias del Reino enviaban a sus hijos a estudiar en ella».

Debemos destacar en esta época, (además de su lema, vigente en los cien años de permanencia en el Alcázar, «la ciencia vence»), dos profesores extraordinarios. Uno de ellos es D. Tomás de Morla, ya citado, autor del *Tratado de Artillería para uso de la Academia* que publica en Segovia, en 1784, y cuya colección de láminas, realizadas con todo detalle y perfección, acompañadas de medidas, cotas y tolerancias, fueron muy cotizadas durante años en toda Europa. Escribió también el *Arte de fabricar la pólvora*. (Segovia, 1800).

El otro profesor digno de mención es el célebre químico francés Louis Joseph Proust, que trabajaba, por aquel tiempo, para la Artillería española

en la Fábrica de Fundición de Bronces de Sevilla, y es llamado en 1788 para organizar la asignatura de química e impartirla, lo que hizo hasta 1799, abriendo para ello un laboratorio de Química que, a decir del mismo Proust, era sin igual en toda Europa. En él enuncia su famosa *Ley de las Proporciones Definidas*, base de la estequiometría, y se publican los *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*.

Bajo la dirección de Proust tiene entonces lugar un acontecimiento de gran importancia técnica, poco divulgado, que otorga a los españoles el título de primeros aerosteros militares del mundo. Se trata de la primera ascensión en globo realizada en España. Tuvo lugar en El Escorial, en presencia de Carlos IV el 14 de noviembre de 1792, muy poco tiempo después de la realizada por los hermanos Montgolfier en Francia. El experimento se hizo con un globo esférico cautivo, construido en el laboratorio de Química de la Academia, y enseguida se vio su gran utilidad como observatorio para la corrección del tiro artillero. El evento, entonces muy sonado, está perfectamente detallado en un documento manuscrito, conservado en el Museo del Aire de Cuatro Vientos, por un testigo de excepción: el Conde de Aranda. (El Servicio de Aerostación no se organizaría hasta 104 años después, encomendándose al Cuerpo de Ingenieros del Ejército).

Como he citado más arriba, la Artillería también llegaba, en este siglo, a su mayoría de edad en lo concerniente a la fabricación y el mantenimiento, pues se oficializa la adscripción al cuerpo, así como la dependencia directa a su Inspector General, de todas las fábricas de pólvora, fundiciones, factorías y explotaciones mineras, propiedad de la Corona, necesarias para la fabricación de armamento.

Las vacantes de estos destinos se reservan al principio a un reducido número de oficiales con estudios complementarios, denominadas «estudios sublimes» pero, con el desarrollo progresivo de la enseñanza impartida en la Academia de Segovia, se extiende pronto esta posibilidad a todos los oficiales del Real Cuerpo.

La relación de estos establecimientos, de los que, algunos de los fabriles, han sido, hasta hace muy poco, la base de la Empresa Nacional Santa Bárbara, es la siguiente:

- Maestranzas, donde se mantenía la pólvora y el armamento y se fabricaban los afustes y carruajes: Madrid, Barcelona, Segovia, Sevilla y La Coruña.
- Fundiciones de bronce: Barcelona y Sevilla.
- Fábricas de pólvora: Murcia, Granada (de origen antiquísimo, del tiempo de los árabes), Manresa y Alcázar de San Juan.
- Salitrerías: Zaragoza, Tembleque, Lorca y Murcia.
- Fábrica de armas blancas: Toledo (creada por Carlos III).
- Ferrería y luego fábrica de cañones: Trubia (creada por Carlos IV).
- Minas de carbón: La Sonora, León, Villafranca.
- Minas de azufre: Hellín y Benamaurel.
- Mina de cobre: Riotinto.
- Fundición de hierro para la Marina: Liérganes y La Cavada (en 1780 se hace cargo de ellas el Cuerpo de Artillería de la Marina).
- Munición: Sargadelos, Orbaiceta.
- Armas ligeras: Oviedo (creada por Carlos IV).

En estos establecimientos se desarrolla una importante labor industrial, dirigida a las nuevas necesidades del armamento, modernizándose los procesos de fabricación e introduciéndose métodos rigurosos para la inspección y el reconocimiento de las bocas de fuego, pólvoras y proyectiles.

Es también ahora cuando se empieza a fabricar el tubo del arma en sólido y su posterior barrenado para formar el ánima, a la vez que se mejora notablemente la calidad del hierro.

Mientras, el desarrollo tecnológico que trajo consigo la Ilustración, y que fue asumido en gran parte por los cuerpos técnicos facultativos de los Ejércitos que, en este siglo XVIII, se constituyeron, propició el nacimiento, a partir del siglo siguiente, de nuevas ramas de la Ingeniería de aplicación al mundo civil.

Siglo XIX (las Ingenierías Civiles)

Veámoslas rápidamente, y observemos la participación que pudieron tener en su constitución ingenieros de los cuerpos militares.

La aparición de la Ingeniería no militar va ligada a la de sus centros de formación. La primera Escuela es la de Minas de Almadén (si hacemos abstracción de la fundada en Méjico por D. Fausto de Elhúyar y Lubice) creada por R.O. de 14 de julio 1777, y que en 1835 se traslada a Madrid.

La segunda es la de Caminos, Canales y Puertos de 1802, cuyo cuerpo estaba ya prácticamente constituido por la R.O. de junio de 1799 que crea la Inspección de Caminos y Canales. Varios ingenieros militares forman parte de ella, distinguiéndose Agustín de Betancourt y Molina, por el papel primordial que tiene en su constitución. En 1801 es nombrado Inspector General del Cuerpo de Ingenieros de Caminos y Canales, fundando al año siguiente la Escuela citada en el Palacio del Buen Retiro y de la cual fue su primer director.

Enemistado posteriormente con Fernando VII, Betancourt viaja a Francia y Rusia, donde crea, en San Petersburgo, la primera Escuela de Ingeniería de Rusia y es nombrado Mariscal de Campo por el Zar, grado que ya había alcanzado en España.

Respecto a la Escuela de Ingeniería de Montes, que empezó a funcionar en 1848 en Villaviciosa de Odón, su primer director e impulsor fue el militar D. Bernardo de la Torre Rojas. El cuerpo estaba ya separado del de Ingenieros de la Marina al crearse la Dirección de Montes en 1833 y la Inspección de Bosques en 1835.

Por otro lado, es en 1850 cuando aparece la carrera de Ingeniero Industrial, sufriendo una serie de vicisitudes la organización de sus estudios a través del Real Instituto Industrial, creado en la misma fecha. En la defensa de la existencia de esta rama de la Ingeniería, de sus atribuciones y del plan de estudios de sus Escuelas desempeña un decisivo papel el entonces Ministro de Fomento, el General de Artillería D. Francisco de Luxán y Miguel.

Luxán es uno de los mejores representantes de la figura del artillero científico del siglo XIX. Fue presidente de la comisión para el levantamiento del Mapa Geológico de España, así como el primer profesor oficial de Geología. Resuelve también el problema del rápido desgaste de las bocas de fuego de bronce al usarlas con rayado interior, consiguiéndolo al implantar un nuevo proceso de obtención de bronce comprimido, en la Fábrica de Fundiciones de Sevilla.

Fue Académico fundador de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Ministro de Marina y dos veces Ministro de Fomento.

Aun se crearían dos nuevos cuerpos de ingenieros civiles en lo que quedaba de siglo. Se trata del de Ingenieros Agrónomos, reglamentado en 1879, habiéndose instituido ya la Escuela Central de Agricultura en 1855 y del de Ingenieros Geógrafos, muy relacionado desde sus orígenes con el Ejército, creado por R.D. de 9 de abril de 1900, sobre la base de antiguos oficiales geodestas y formado por miembros de las diversas ramas de la Ingeniería civil y militar.

Unos años antes había fallecido el General del Cuerpo de Ingenieros del Ejército D. Carlos Ibáñez e Ibáñez de Íbero, introductor en España de la Geodesia moderna. A él se debe la creación del Instituto Geográfico y Estadístico, en 1870, siendo su primer Director General (yo, personalmente, le tengo una especial admiración, pues tuve el honor y la responsabilidad de haber sido, en los dos primeros gobiernos de la Monarquía, Director General del Instituto Nacional de Estadística, organismo que hasta 1923, no se desgajó del Instituto creado por el General Ibáñez de Íbero).

A partir de aquella época, podemos decir que los trabajos cartográficos españoles se bifurcan en dos direcciones: la militar, encomendada entonces al Depósito de la Guerra y, hoy día, al Centro Geográfico del Ejército; y la civil, responsabilidad del nuevo Instituto. La actividad científica de Ibáñez de Íbero fue muy fructífera, llegando a formar el Mapa Topográfico Nacional y realizar el enlace de las triangulaciones de Europa y África, lo que le valió el título de Marqués de Mulhacén, en recuerdo de la estación geodésica instalada en el pico de este nombre. Llegó a ser el primer presidente de la Comisión Internacional de Pesas y Medidas de París, así como de la Asociación Geodésica Internacional.

Lo que hemos relatado del siglo XIX se desarrolla, como de todos es sabido, en un período de tiempo lleno de desórdenes de todo tipo, sobresaltos, invasiones, guerras (primero con los ingleses, luego con los franceses, tres guerras carlistas, las de África y las de América) expediciones, pronunciamientos, levantamientos, cambios de gobierno, de sistemas de Estado, de dinastía, independencia progresiva de las provincias de ultramar y, finalizando el siglo, el gran trauma de la pérdida de las últimas colonias: Filipinas, Cuba y Puerto Rico.

Y, sin embargo, un puñado de ingenieros, civiles de creación reciente y militares de viejas tradiciones, acometen la dura tarea de ayudar a la castigada España a entrar en la Revolución Industrial, a modernizarla a través de la ciencia y de la tecnología, de la Ingeniería en definitiva, cada uno en el terreno de su especialidad.

No me puedo detener, por carencia de tiempo y por no ser el tema base de mi discurso, en la cita de los insignes ingenieros civiles que desarrollaron una fecundísima labor durante estos años y me he limitado a recordar, someramente, las biografías de algunos de aquellos ingenieros militares, a las que añadiré la de un prestigioso artillero, principal protagonista del cambio que entonces experimentó el material base de la fabricación de las bocas de fuego, es decir, la mejora de las características del hierro fundido y la utilización, y consiguiente fabricación, del acero.

Se trata de D. Francisco de Elorza y Aguirre, que, exiliado en Lieja por los avatares de aquella época, ya de Teniente Coronel de Artillería, completa sus estudios en la Universidad y en la Fundición de Cañones de aquella ciudad.

Llamado de nuevo por el Rey, y después de dirigir y modernizar la fábrica de hierro de Marbella y de El Pedroso, se le encomiendan las Fábricas de Trubia y Oviedo, donde se le considerará uno de los protagonistas del despegue siderúrgico de Asturias.

En efecto, Elorza construye en Trubia los dos primeros altos hornos al coque que marchaban al fin satisfactoriamente en España. El primero, llamado Daoíz, inicia su actividad en 1848, haciéndolo el segundo, llamado naturalmente Velarde, al año siguiente.

También consigue iniciar la fabricación de acero fundido en España, haciéndolo por el único método entonces conocido: el de los crisoles.

En Trubia se introducen, en los cañones fabricados, las dos innovaciones más importantes de la época: el rayado del ánima, con el fin de conseguir una mayor estabilidad y precisión del proyectil, y la retrocarga, adoptando la artillería española, a partir de 1870, el sistema propuesto por Elorza.

Como proyectistas de las nuevas armas debemos citar al Brigadier González Hontoria, del Cuerpo de Artillería de la Marina, y, del Ejército, a: Ordóñez, Munáiz, Argüelles y Mata. Las piezas que proyectaron llevan sus propios nombres, lo que ayuda a perdurar su memoria.

Digamos, por último, de este siglo que, si en el siglo XVIII tuvo lugar la adscripción y fundación de fábricas a cargo de los ingenieros militares, en el XIX se crearon los que denominamos «Centros»: organismos de técnicas avanzadas, creados en fechas que ponen de manifiesto el espíritu emprendedor y regeneracionista de aquella gente, imposible de desalentar. Entre esos centros están:

El Laboratorio de Ingenieros del Ejército, creado en 1885 por el prestigioso ingeniero militar D. José Marvá.

El Laboratorio Químico Central del Armamento, de 1898.

Polígono de Experiencias «Costilla» de 1885.

El Polígono de Experiencias «González Hontoria» de la Marina de 1859.

El Taller de Precisión y Centro Electrotécnico del Arma de Artillería, creado en 1898.

El Taller y Centro Electrotécnico de Ingenieros de 1847.

Se trata de centros logísticos de alto nivel, a cargo de los cuerpos técnicos de los Ejércitos, y desempeñan un importante papel, en el que se llamará más tarde Apoyo Logístico Integrado, al actuar de interlocutores entre los usuarios de los sistemas de armas y las industrias fabricantes.

A ellos les seguirían, ya en el siglo XX, el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo en 1933, el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, INTA, en 1942, y el Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada, CIDA, en 1944.

Son, por tanto, además de lo dicho, centros de investigación de los Sistemas de Defensa.

El siglo xx (las dos guerras mundiales)

Estos centros son también un claro exponente de una idea, hoy ya mundialmente aceptada, de que el desarrollo tecnológico está íntimamente ligado a la investigación.

A lo largo del siglo xx, las inversiones dedicadas a la I+D en España, por parte de los ministerios militares y por el de Defensa, desde su creación en 1977, irán creciendo considerablemente, concretándose en programas a desarrollar, no sólo en los centros citados, sino en empresas y laboratorios ajenos a las Fuerzas Armadas, provocando en ellos, en ocasiones, el efecto positivo de la introducción, desarrollo y utilización de tecnologías de vanguardia.

Es interesante destacar que la idea de realizar investigación y desarrollo militar tiene lugar nada más iniciarse la 1ª Guerra Mundial. Y surge, es muy justo resaltarlo, por iniciativa del colectivo investigador civil existente en Europa. Es decir, durante la que se llamó Gran Guerra, no sólo cambió la guerra, sino que también lo hizo la ciencia.

Así, conscientes los científicos franceses e ingleses de que la potencia alemana no sólo era económica, sino también científico-universitaria, como consecuencia de la política de enseñanza técnica, llevada a cabo desde el siglo xix e iniciada por Von Bismarck, ofrecieron a sus respectivos gobiernos su total colaboración, en el convencimiento de que la ciencia era un recurso esencial, no sólo para la riqueza de un país sino también para su seguridad.

Como consecuencia de estas iniciativas se crean, en 1915, la «Board of Inventions and Research» a propuesta de la prestigiosa «Royal Society of London», en Inglaterra, y la «Direction des Inventions», en Francia, a propuesta de la «Academie des Sciences de Paris», que acometen la solución científico-técnica de los problemas planteados al principio y a lo largo de la guerra: fundamentalmente, el desarrollo de la balística y de los explosivos, (recordemos que los alemanes llegaron a bombardear París a más de 100 km de distancia), la detección de los submarinos (se inventará el sonar), nuevos productos químicos (como consecuencia de una nueva arma aunque prohibida: el arma química), el desarrollo de la aeronáutica (recientemente creada) y la construcción naval.

España, como es sabido, no participa en esta guerra pero sigue muy de cerca los progresos técnico-militares que, durante la misma, tienen lugar.

Así, nuestra Marina, después de las enormes pérdidas provocadas por las derrotas de Santiago de Cuba y Cavite, trata de rehacer la flota, con las ideas e innovaciones del momento.

El proyecto es iniciado por el Plan Maura, continuado luego por el Plan Miranda y el Plan Naval de la Dictadura. Se crea una empresa titulada La Constructora Naval (Bazán no se creará hasta después de la Guerra Civil, en 1942, en el seno del INI) que botará, entre otros buques, tres modernos acorazados: *España*, *Alfonso XII* y *Jaime I* y, ya en el Plan de la Dictadura, se iniciará la construcción de los cruceros *Canarias* y *Baleares*, que se unirían a los ya construidos *Méndez Núñez*, *Blas de Lezo*, *Príncipe Alfonso* y *Almirante Cervera*.

Mientras, tiene lugar la realización de una necesidad sentida: la creación del Cuerpo civil de Ingenieros Navales, en 1933, siendo hasta entonces esta Ingeniería exclusivamente militar. Esta fecha es la de la conversión de la Academia de Ingenieros de la Marina en Escuela civil, trasladándose de Ferrol a Madrid. El Cuerpo de Ingenieros de la Marina, pasados los años, en 1950, se reactivará de nuevo con el nombre de Cuerpo de Ingenieros Navales de la Armada.

Por otro lado, en aquellas fechas de principio de siglo, España es también protagonista, junto con los países contendientes en la Gran Guerra, del apasionante desarrollo de la ciencia aeronáutica y sus aplicaciones. Su origen es también militar, vinculado al Cuerpo de Ingenieros del Ejército. Se inicia con el Servicio de Aerostación, ya citado, creado en 1896, siendo su primer mando el Comandante Ingeniero D. Pedro Vives Vich, magnífico militar e inquieto hombre de ciencia, con grandes dotes de organización y, a la vez, de meticuloso investigador.

En 1926, al reorganizarse el Servicio de Aeronáutica en dos ramas, la Aerostación le cede el paso a su ya crecida hermana menor, la Aviación, imparable en su desarrollo.

La aviación se había convertido en un elemento estratégico de primer orden durante la guerra y, finalizada la misma, al reducir los ejércitos su

demanda, sólo algunas compañías, como en España la Hispano Suiza o CASA, logran superar el envite.

En cambio, la investigación aeronáutica sigue impulsada, la mayoría de la veces, desde las Fuerzas Armadas: Juan de la Cierva, en íntima relación con militares aeronautas, patenta su autogiro en 1920; se crean laboratorios, centros de ensayo, de mantenimiento y de control de calidad, como el Laboratorio Aeronáutico de Cuatro Vientos; así como centros de enseñanza, como la Escuela Superior Aerotécnica, fundada en 1928.

Fueron varios los ingenieros militares impulsores de gran parte de estos proyectos, destacándose sin lugar a dudas, la figura de D. Emilio Herrera Linares, aeronauta militar, piloto de globo, dirigible y aeroplano, ingeniero y científico. Moriría, en 1967, ya de General, exiliado en París como consecuencia de nuestra Guerra Civil.

El Ministerio y el Ejército del Aire se crearían acabada la Guerra Civil, en agosto de 1939. Con ellos también nacía el Cuerpo de Ingenieros Aeronáuticos y la Academia Militar de Ingenieros Aeronáuticos, precedentes directos de los actuales ingenieros civiles aeronáuticos y su Escuela Técnica Superior, en la que se transforma la Academia Militar citada, cuando, en 1948, pasa a depender del Ministerio de Educación.

El Ejército del Aire mantendrá su Cuerpo de Ingenieros Aeronáuticos que continuarán formándose en la Escuela, ya civil.

Por otra parte, la evolución de los cuerpos técnicos del Ejército de Tierra, registra un punto de ruptura durante la Dictadura, que no se resolverá en los dos períodos siguientes de la República y la Guerra Civil. Me refiero a la modificación del régimen de enseñanza de todos los oficiales del Ejército, que lleva consigo la creación de la Academia General Militar en Zaragoza, en 1926.

Los cadetes, después de un período en dicha Academia, pasan a completar su formación a sus Academias Especiales, en las que ya no se impartirán estudios de Ingeniería Superior, como hasta entonces se realizaban en Segovia y Guadalajara, sino que se limitarán a adquirir los conocimientos necesarios para el eficaz empleo del material, en su misión táctica, buscándose la mayor capacitación profesional para ello.

Es decir, de los tres grandes campos de actuación de los ingenieros militares (la fabricación, el mantenimiento y el uso) que tantas veces he citado, a partir de entonces, los oficiales de las Armas (y no Cuerpos) de Artillería e Ingenieros, tendrán como principal cometido el tercero: el uso.

Para llenar este vacío se crea en 1940 la Escuela Politécnica Superior del Ejército y un solo Cuerpo de Ingenieros de Armamento y Construcción (siguen pues las dos ramas clásicas) «con el objeto de perpetuar la tradición de sus viejos artilleros e ingenieros militares», como ya dije al principio de mis palabras.

Acorde con esta política de integración, la Marina, en 1967, creará el Cuerpo de Ingenieros de la Armada, reuniendo en su seno a los ingenieros de Armas Navales, los Ingenieros Navales de la Armada y un reducido colectivo de Ingenieros de Electricidad.

En este pequeño homenaje que estoy rindiendo a los ingenieros militares, al citar a algunos de sus más destacados representantes, me quedaría por nombrar los correspondientes al siglo xx, pues de este siglo sólo he citado nominalmente a algunas figuras de la Aeronáutica. Añadiré, simbólicamente, uno solo de cada cuerpo restante:

General D. José María Fernández Ladreda y Menéndez Valdés, Ingeniero de Armamento, director y modernizador de la Fábrica de Armas de Oviedo, Premio Daoíz y dos veces académico.

D. Juan Antonio Suanzes, Ingeniero Naval de la Armada, primer presidente del Instituto Nacional de Industria, INI, desde donde se abordaría la acuciante industrialización de España, destrozada por la Guerra Civil.

Almirante D. José María Otero, Ingeniero de Armas Navales, creador y director del Instituto de Óptica «Daza de Valdés» y del CIDA, cofundador de la Junta de Energía Nuclear, de la que sería Director General, Vicepresidente y Presidente.

Y, finalmente, D. Alejandro de Goicoechea y de Omar, Ingeniero de Construcción, inventor del tren articulado ligero que lleva sus iniciales: el TALGO.

A mediados de este siglo xx, el mundo entero era conmocionado por la más grande de todas las guerras: la Segunda Guerra Mundial. Finalizada ésta, tiene lugar una larga y tensa posguerra que se ha venido en llamar la «guerra fría».

Durante la guerra las grandes invenciones y desarrollos fueron en dos campos: el de las comunicaciones, incluyendo en él la invención del radar para la detección de aviones, y el del desarrollo de la bomba atómica.

Pero podemos decir, de una manera amplia y general, que, tanto en la guerra como en la larga posguerra, la disposición de la capacidad de investigación de las naciones al servicio de su Defensa se puso de manifiesto en cada aportación científica y en cada desarrollo, de modo que la lista de productos o innovaciones de éstos, que nacen de una necesidad militar, o que inmediatamente se reflexiona sobre su posible aplicación bélica, es enorme: los nuevos aceros, el telégrafo, el teléfono, la radiotransmisión, la radiogoniometría, el submarino, el telémetro, el helicóptero, la válvula de vacío, el nailon, el transistor, el circuito integrado, el radar, la misilística, los ordenadores, el láser, el caucho sintético, nuevos insecticidas, nuevos productos textiles, los satélites, el motor a reacción, la ergonomía, la fibra óptica, la teledetección, Internet, el uso del infrarrojo, la propulsión nuclear, la criptografía, la digitalización, el GPS, la aviónica, etc., etc.

Y es que, durante la llamada guerra fría, la investigación es financiada, en un gran porcentaje, por los Ministerios de Defensa de las naciones más importantes, con el concepto moderno de que la Defensa es más que la satisfacción de las necesidades militares inmediatas, pudiendo extenderse, por ejemplo, al medio ambiente, a la biomedicina, a la oceanografía, al espacio, a los nuevos materiales, a las nuevas fuentes de energía, etc.

Y, por otra parte, en un camino inverso que va de lo militar a lo civil, se buscan otras aplicaciones a desarrollos de justificación inicial militar: como se hizo con lo nuclear, con los explosivos, con el radar, con los vehículos especiales, etc.

Pues bien, de todo este cúmulo de inventos y productos nuevos, los que más impacto social provocarían serían todos los relacionados con la electrónica. Al acabar la guerra, se recogieron inmediatamente los resulta-

dos del esfuerzo investigador realizado en este campo durante la misma, como es el caso del transistor, al que se puede considerar como el dispositivo más empleado en las tecnologías actuales, descubierto en los laboratorios Bell en 1947 por los tres físicos, luego premios Nobel: Bardeen, Brattain y Shockley. Otro ejemplo es el del máser y el láser, descubiertos por Townner, también recién acabada la guerra.

A estos descubrimientos se unen otros muchos, algunos ya citados, cuyas prestaciones mejoran a una velocidad vertiginosa que permiten el uso ingenieril del nuevo recurso que caracteriza nuestra época: la información. Bajo el epígrafe de Nuevas Tecnologías de la Información/Comunicación, englobamos la microelectrónica, las telecomunicaciones, la informática, la robótica y la automatización.

La principal Ingeniería implicada en la utilización de estas Nuevas Tecnologías es la de los Ingenieros de Telecomunicaciones, que tienen su origen en la creación de la Escuela Superior de Telegrafía de 1920, nacida en el seno del Cuerpo de Telégrafos, antiguo cuerpo organizado en 1855 por el ingeniero militar Mathé. Posteriormente, en 1930, se crea la Escuela Oficial de Telecomunicación, hoy día Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones.

Esta Ingeniería es la base de la tercera especialidad, que con el nombre de «Electrónica y Telecomunicaciones», se añade, en la Ley de 1989, a las dos tradicionales del Cuerpo de Ingenieros de Armamento y Construcción, pasando entonces a denominarse Cuerpo de Ingenieros Politécnicos del Ejército.

La irrupción de la información como recurso, y de las tecnologías que la tratan, justifica la denominación de esta nueva era post-industrial como Era de la Información, también llamada Era de los Sistemas.

Finales del siglo xx y principios del XXI (la Sistémica)

Si tomamos como definición de sistema, la suministrada por Bertalanffy que, a pesar de su sencillez es siempre válida: «conjunto dinámico de elementos y de relaciones entre estos elementos», podemos decir que las

Nuevas Tecnologías de la Información / Comunicación han establecido, modificado, reforzado o refinado las relaciones entre los elementos de los más diversos sistemas diseñados por el hombre, sean físicos o abstractos, así como de aquellos organizativos basados en la actividad humana. Ello explica, de una manera sencilla, que hablar de Información y de sus Tecnologías es lo mismo que hablar de Sistemas, y que, por tanto, esta Sociedad de la Información aparece en la Era de los Sistemas, fruto de la Tercera Ola de Toffler, como más arriba hemos citado.

Añadamos además que, el ingeniero, civil o militar, se responsabiliza en buena medida de la configuración de la nueva sociedad, por lo que debe utilizar adecuadamente estas tecnologías, en su doble vertiente económica y técnica, usando para ello útiles de decisión que, por su formación y mentalidad, tiene a su alcance, como son la concepción sistémica de los problemas que le proporciona el Análisis de Sistemas y la actitud creativa cara al futuro que le suministra la Prospectiva

Es frecuente hablar hoy día de la «Revolución de lo Militar» y, en efecto, casi todo lo concerniente a la Defensa está experimentando un cambio que, en ocasiones, es radical.

Este cambio, unido a la interdependencia, la globalización, la complejidad y la incertidumbre, configura el contexto que enmarca, hoy día, toda decisión en el campo de la Seguridad y de la Defensa.

La implantación de las Nuevas Tecnologías de la Información en el ámbito militar, igual que en la sociedad en general como ya hemos dicho, es uno de los principales factores desencadenantes del citado cambio, pero también con ellas tenemos el instrumento que, adecuadamente usado, permite adaptarse, preverlo, dominarlo, provocarlo o adelantarse a él.

Ahora bien, en el campo de la Defensa, el diseño, la implantación y la utilización de las tecnologías citadas, revisten especiales aspectos relacionados con el análisis y la evaluación de las posibles amenazas; los nuevos desafíos; el control de las crisis; la toma de decisiones; la formación, el adiestramiento y la instrucción de los mandos y las unidades; el mando y la conducción de las operaciones; la rapidez y la acertada respuesta ante determinadas situaciones; las nuevas capacidades exigidas a los ejércitos; y la garantía de la seguridad y eficacia de sus intervenciones.

En el nuevo contexto de empleo de los ejércitos, las nuevas capacidades a él exigidas se plasman en nuevos requerimientos al material, exigencia que abarca íntegramente su gestión y supone tal cambio en la logística que se ha llegado a usar también la expresión «la revolución de la logística».

Pues bien, el responsable de la compleja gestión del material, el ingeniero de Sistemas de Defensa, dispone hoy día de un nuevo marco referencial, de un nuevo paradigma, como ahora se dice, en que apoyar sus decisiones. Éste es el paradigma sistémico que exponemos a continuación:

El concepto base es, naturalmente, el concepto de Sistema, en el que, como ya dijimos, aparecen al mismo nivel las partes que constituyen un conjunto y las relaciones existentes entre ellas.

La manera de «aproximarse» a los problemas con criterio sistémico es lo que acostumbramos a llamar *approach* o enfoque sistémico, y ello es el resultado de un deseo, o al menos una actitud, de aprehender el fenómeno o problema a estudiar en toda su amplitud y globalidad.

Ello comporta que no se pueda considerar el todo como una simple suma de las partes. Esta actitud es pues distinta a la basada en los principios reduccionista y causalista del cartesianismo, cuya manifestación científica más representativa es la Mecánica Racional, donde la reversibilidad es aceptada.

Descartes en su *Discurso del Método* enunció los cuatro principios que marcaban la pauta de la actitud racional y eran la base del determinismo que había impregnado, desde Aristóteles, el saber científico occidental.

Estos principios son:

El de *evidencia*: Aceptar como verdadero solamente lo que es evidente.

El *reduccionista*, ya mencionado más arriba, consistente en dividir el problema complejo presentado en tantas partes como sea preciso, hasta ser posible abordar la solución en cada una de ellas.

El de *causalidad*: Todo efecto es debido a una causa. Conocida ésta podemos determinar las consecuencias. Es decir, dadas las condiciones iniciales podemos entonces predecir el futuro. De igual forma, apoyándonos

en esta lógica, podemos «retrodecir» el pasado. Es el principio base del determinismo y de la creencia en la reversibilidad del tiempo.

El de *exhaustividad*: Desmenuzar el problema hasta el punto en que no quede nada sin tratar, llegando hasta el nivel más bajo preciso.

El enfoque cartesiano, basado en estos cuatro principios tenía por objeto conocer, explicar, comprender, predecir y controlar la realidad. Sin embargo, hoy día, cuando solamente el determinismo cartesiano, fruto de sus principios, se ha querido aplicar a complejos fenómenos organizativos, técnicos o sociales, su fracaso ha sido rotundo.

Ello es así porque la enorme complejidad de los problemas que aborda hoy día el hombre y, en particular, los relacionados con los Sistemas de Defensa, le obliga a la consideración del todo antes que las partes y le fuerza a la conclusión de que no se puede «extraer» lo que estamos estudiando de su entorno, pues el fenómeno se vuelve incomprensible mientras el campo de observación no sea lo suficientemente grande como para incluir en él el contexto, en el cual dicho fenómeno se produce.

Así surge la necesidad del enfoque sistémico en el análisis de los fenómenos complejos, como son los relacionados con la Defensa y Seguridad en la sociedad actual.

Le Moigne, en 1977, propone otro nuevo marco intelectual basado en otros cuatro principios complementarios, y cada vez más sustitutos, de los cartesianos, bajo el epígrafe de *Nuevo discurso del Método*. Éstos son:

El principio de *pertinencia* por oposición al de evidencia. Todo objeto se definirá con respecto a los propósitos del decisor (o modelizador en su caso).

El principio *global* o *sistémico*, en contra del reduccionista. La consideración como un todo de lo que es complejo se impone y este todo (formado por partes y relaciones entre ellas) está a su vez inmerso en un «todo» más grande.

El principio *teleológico*, en vez del de causalidad. Se interpreta el objeto por su comportamiento, su utilidad, su razón de ser.

Y por último, el de *agregatividad* por oposición al de exhaustividad. Es decir, cada representación de la realidad debe ser simplificativa y prevalece, en ese caso, la percepción global sobre la precisión del detalle.

Este nuevo paradigma mental rompe con el encorsetamiento del racionalismo, asienta la noción de la irreversibilidad del tiempo, no admite la linealidad causa-efecto y margina definitivamente el pensamiento determinista.

Hasta ahora sólo hemos empleado la definición de *sistema* dada por Bertalanffy, pero existen otras definiciones de sistema.

Así, para la Teoría Cibernética, un sistema es una «máquina» (recogiendo en esta expresión tanto los seres vivos como los artificiales) susceptible de ejercer funciones de control y comunicación, es decir, con la posibilidad de ejercer retroalimentación.

Para la Teoría de la Organización, un sistema es «una combinación organizada de infraestructura, medios materiales y medios humanos con el objetivo común de cubrir una determinada misión». Es decir, podemos expresar de nuevo que un sistema está constituido por «un conjunto de componentes interrelacionados» y agregamos «que trabajan juntos hacia un objetivo común».

El concepto de sistema, es pues, enormemente amplio y aplicable a casi todo. Pero los sistemas que nos interesan en el mundo de la Ingeniería son aquellos que presentan dinamismo, complejidad y utilidad. El dinamismo está ligado al carácter evolutivo, tanto de los elementos como de las relaciones. La complejidad implica una incapacidad para describir todo el sistema y deducir su comportamiento a partir sólo del conocimiento de sus elementos, puesto que es más que la suma de sus partes, es decir, el sistema tiene prestaciones que no pueden conseguir ninguno de sus elementos por separado. Por último, el objetivo que busca el sistema es su función y su logro es la razón de ser del mismo.

El concepto de sistema se constituyó poco a poco, en los Estados Unidos desde los años cuarenta y proviene de campos muy diferentes como son la biología, las matemáticas, la física, la ingeniería y la gestión.

Von Bertalanffy, biólogo, presenta en aquellos primeros años el concepto de «sistema abierto» y posteriormente sienta las bases de la Teoría General de Sistemas. Junto con el matemático Rapoport crea la «Sociedad para el estudio de los Sistemas Generales», cuyos ambiciosos objetivos eran la búsqueda de isomorfismos en los conceptos, leyes y modelos de dominios muy diferentes y, de esta manera, favorecer la transferencia de modelos teóricos de un dominio a otro, buscando finalmente la unicidad de la ciencia, aspiración que ha acompañado al hombre desde siempre.

Wiener, en los años cincuenta, acuña el concepto de Cibernética. Se trata de un matemático especialista en el tiro antiaéreo durante la 2ª Guerra Mundial. Por otra parte, Claude Shannon, ingeniero de telecomunicaciones, publica con W. Weaver, la *Teoría matemática de la comunicación*, elaborando toda una Teoría de la Información.

Posteriormente Forrester, ingeniero electrónico, profesor en el MIT, crea en 1961, la Dinámica Industrial tratando de prever la evolución y el comportamiento de los sistemas por su simulación, desarrollando una técnica específica de modelización basada en el lenguaje Dynamo. En el año 1971, finalmente, crea una nueva disciplina que denomina Dinámica de Sistemas, (por cierto, un insigne miembro de esta Academia, el Profesor Javier Aracil, está galardonado con el Premio Internacional Forrester).

A lo largo de todo este proceso de investigación, se han ido concretando las principales características atribuibles a los sistemas y al proceso intelectual que los tiene en cuenta. Estas características son:

- Posibilidad de generar conocimiento.
- Consideración teleológica.
- Realimentación.
- Multidisciplinariedad.
- Dinamismo.
- Consideración de la limitación de los recursos.

Pues bien, si se nos permite la simplificación, podemos decir que, según fijemos la atención en una de estas características, estaremos ante una u otra de las diferentes escuelas, algunas ya citadas, que han surgido, en la segunda mitad del siglo xx, en el amplio campo de la Sistémica. Veámoslas esquemáticamente:

La Teoría General de Sistemas, que tiene como fundador al ya citado Bertalanffy y fija su atención en la «consideración teleológica» o del propósito y objetivo del sistema, tratando de profundizar en el «conocimiento» del mismo.

La Dinámica de Sistemas, desarrollada, como ya hemos dicho, por Forrester y que se apoya fundamentalmente en las características de «realimentación» (*feed-back*) y de «dinamismo» que tienen los sistemas.

La Ingeniería de Sistemas, cuyo representante más significativo es Blanchard. Esta escuela realiza el enfoque global a lo largo del tiempo, contemplando como un todo el «ciclo de vida» del sistema, desde su concepción hasta su retirada del servicio. Tiene por objeto lograr el equilibrio entre los factores operativos –prestaciones–, económicos y logísticos.

El Análisis de Sistemas, desarrollado en el seno de la Rand Corporation, que tiene sobre todo presente la «limitación de los recursos», usando el binomio coste / eficacia como uno de sus criterios básicos en la elección de alternativas, a la vez que se resalta la «multidisciplinariedad» del enfoque.

Digamos que todas estas escuelas están al servicio del decisor técnico, y muy particularmente del ingeniero. Tienen, además, notables áreas de solape y no son nunca excluyentes.

A ellas deberíamos unir la llamada Teoría de los Sistemas Blandos, continuadora de la de Análisis de Sistemas, que surge cuando predomina la indefinición del propio sistema, o de los elementos que lo componen o de las relaciones variables entre ellos, o incluso la de los objetivos o finalidad del mismo. Dentro de esta escuela se encuadra la Prospectiva y su metodología.

Algunas de estas escuelas han nacido de la observación y la preocupación por el conocimiento, estudio y control de los Sistemas de Defensa, desde sus máquinas, hasta su organización y procedimientos de trabajo y toma de decisiones.

Veamos a continuación, el Análisis de Sistemas y su actual aplicación a la generación de escenarios posibles de futuro en el campo de la Pros-

pectiva para pasar a continuación a la Ingeniería de Sistemas, en su doble proyección de instrumento de gestión y de ingeniería propiamente dicha.

El Análisis de Sistemas, tiene un origen histórico militar, vinculado a la Investigación Operativa. Aparece, finalizada ya la Guerra Mundial, situándose su fecha de origen en 1948, coincidente con la creación de la Rand Corporation como empresa de asesoramiento sin afán de lucro y financiada inicialmente por la Fundación Ford.

La investigación Operativa había nacido durante la 2ª Guerra Mundial en Gran Bretaña, para dar respuesta a ciertos interrogantes relativos al mejor empleo de los nuevos sistemas de armas. En un caso similar al de la 1ª Guerra Mundial, cuando los científicos se brindaron voluntarios a investigar para las Fuerzas Armadas, aquí la ayuda de los científicos civiles se dirigió al empleo de las técnicas lógico-matemáticas para la toma de decisiones. El llamado, con humor británico, «Circo Blackett», primer equipo de «Operations Research» (es decir, de investigación de operaciones militares) estaba formado por tres biólogos botánicos, dos matemáticos, un astrofísico y un militar. Ejemplos típicos de los problemas abordados fueron la determinación del mejor empleo de un número determinado de bombarderos, el mejor modo de dimensionar los convoyes aliados como defensa de los submarinos alemanes o la manera óptima de desplegar los radares en el sur de Inglaterra frente al ataque de bombarderos. Así pues, la Investigación Operativa se interesa por el mejor empleo del material ya existente y, por tanto, la incertidumbre y el riesgo tecnológico no influyen en sus planteamientos.

No así el Análisis de Sistemas que aparece en un nivel superior de decisión, en el planeamiento, con una dimensión, que podríamos decir, estratégica. Durante largo tiempo, y todavía actualmente, el Análisis de Sistemas se aplicó fundamentalmente a sistemas militares, probando, una vez más, el carácter bélico de la utilización primera de las nuevas técnicas. Se aplicó luego a sistemas físicos y, finalmente, a partir de 1960 aparecen las primeras tentativas de aplicación a sistemas de tipo social o humano.

Por otra parte, el Análisis de Sistemas, como el enfoque sistémico en general, se puede realizar de dos maneras distintas: una cognitiva y otra decisional. Estas dos maneras de «aproximarse» a los sistemas reflejan el

doble objetivo de toda la metodología de sistemas: el conocer y el controlar los sistemas mismos.

Los principales elementos del Análisis de Sistemas fueron señalados en un informe realizado por Charles Hitch a finales de los años cincuenta para la citada Rand Co. La debida articulación de estos elementos da lugar a un proceso iterativo y secuencial, que se presenta en siete fases que, en ocasiones, son agrupadas, pero sin perjuicio de su secuencia que siempre es la misma. Estas fases, con algunas de las técnicas auxiliares que en cada una se han desarrollado, son las siguientes:

- Fase 1. *Formulación*. A ella se asocian: El Análisis Estructural y el Análisis Multidimensional de datos.
- Fase 2. *Exploración*: Los análisis exploratorios, los estudios de viabilidad y los estudios exploratorios prospectivos.
- Fase 3. *Comprensión*: Los estudios de situación y los estudios sobre modelos con ayuda de la Simulación.
- Fase 4. *Concepción*: Las técnicas de ayuda a la creatividad (*Brainstorming*, *Sinéctica*, *Método Morfológico*, *Árbol de Relevancia*, etc.).
- Fase 5. *Evaluación*: Las técnicas de ayuda a la evaluación (*Método de los Escenarios*, estudio sobre modelos con ayuda de la Simulación, *Análisis Coste / Eficacia*, *método Delphi*, etc.).
- Fase 6. *Interpretación*: El tratamiento de las incertidumbres y el Análisis de Sensibilidad.
- Fase 7. *Selección*: Las técnicas de Análisis Multicriterio como los métodos *ELECTRA*, el *CPE*, el *analítico jerárquico*, el *análisis de utilidad multia-tributo*, etc.

De las técnicas auxiliares indicadas, las de exploración prospectiva, la de simulación, las de ayuda a la creatividad, las de ayuda a la evaluación y las de Análisis Multicriterio, son usadas también durante el proceso de la Ingeniería de Sistemas en la gestión tecnológica de los Sistemas de Defensa.

Por su importancia en la actitud frente al futuro, que consideramos de vital interés en la problemática recogida en la Revolución de lo Militar, dediquemos ahora unos minutos a la Prospectiva, que, como ya dijimos, se encuadra claramente en la Sistémica, y que emplea, además, la metodología desarrollada en el Análisis de Sistemas.

Generalmente se considera a Bertrand de Jouvenel como padre de la Prospectiva, a la que definió como disciplina encargada de «la exploración de los futuribles» en su famoso libro publicado en 1965, *L'Art de la Conjecture*. (El concepto futurible aparecía como contracción de las palabras *futur* y *possible*).

A pesar del desarrollo que ha experimentado en los últimos años la Prospectiva y su metodología y de las múltiples aportaciones conceptuales a ella incorporadas, sigue siendo válida la definición de Jouvenel. Esto es debido a que en ella se recoge lo más importante de la Prospectiva, que es la actitud activa frente al futuro.

La actitud activa está supuesta en la exploración de los futuros posibles, por oposición a la actitud pasiva (a lo sumo adaptativa) que correspondía al concepto de esperanza matemática, como base de la Previsión clásica y enunciado por Bernouilli, 250 años antes, en un libro con un título similar al de Jouvenel: *Ars Conjectandi*.

Esta actitud activa frente al futuro, propia de la Prospectiva, parte del principio de que el futuro no puede predecirse, pues no está predeterminado y que, básicamente, a lo que debemos aspirar es a configurarlo.

Es decir, es la postura contraria a la idea de fatalismo, para el cual los hechos del futuro tienen la misma entidad que los del pasado. Están ahí, ocultos, y sólo falta adivinarlos o descubrirlos o, fatalmente, esperar a que sucedan. El futuro, para el fatalismo, es ignorado; en cambio, para la Prospectiva el futuro es, simplemente, incierto.

En resumen, la Prospectiva nace por el deseo de las sociedades contemporáneas de ser protagonistas de su futuro, pasando de una actitud pasiva o adaptativa, que generaba la Previsión clásica, a otra activa y creativa frente a su propio porvenir.

La actitud prospectiva es definida por Gaston Berger, en 1967, como un «*état d'esprit*», ejercido sobre cuatro pilares:

- Ver a lo lejos.
- Ver con amplitud.
- Analizar en profundidad.
- Hacerlo de una manera aventurada.

El primer pilar implica el medio y largo plazo, que es donde la Prospectiva tiene su campo de actuación.

El segundo supone el análisis global e interdisciplinario propio del enfoque sistémico que, como varias veces hemos apuntado ya, se hace imprescindible ante la complejidad de los sistemas y de su evolución en el futuro.

En el tercero (analizar en profundidad) se exige el empleo de criterios y métodos cuantitativos que, con base científica, alejan la Prospectiva de la adivinación.

Por último, el cuarto principio supone el uso fructífero y creativo de la imaginación que debe acompañar a todo análisis prospectivo (recordemos el famoso eslogan «*L'imagination au pouvoir*», el más impactante «*graffiti*» de las revueltas estudiantiles de mayo del 68, un año después de la publicación del libro de Berger *L'Attitude Prospective*).

Esta inquietud por la concreción conceptual de la Prospectiva de los años sesenta en Francia, es acompañada por las primeras aplicaciones de una metodología emergente, principalmente en los Estados Unidos. No obstante, es en la década de los setenta cuando llega el auge de la Prospectiva, al manifestarse como insuficientes las técnicas de la Previsión.

Naturalmente, los estudios de previsiones se han realizado desde hace mucho tiempo, pero es en la segunda mitad del siglo xx cuando, al hacerse el mundo tecno-económico más complejo, la necesidad de prever se convirtió en una componente muy importante de la fe en el futuro.

Pues bien, la crisis del petróleo iniciada en el 73/74, cogió de sorpresa a todas las autoridades responsables de la Economía occidental, lo que hizo bascular la expresión de «previsión necesaria» a «previsión insuficiente», poniendo de manifiesto la necesidad de complementar el uso de las técnicas de Previsión con las de la Prospectiva y su metodología.

En el campo de la política exterior tenemos el ejemplo, más reciente, de la reunificación de las dos Alemanias y la desaparición del bloque soviético en el 89/90, que sólo algunos prospectivistas, como Jacques Lesourne, tuvieron la agudeza de predecir.

¿Y qué decir del ataque terrorista al corazón mismo de Nueva York y al Pentágono norteamericano el 11 de Septiembre pasado? Aparentemente, cogió desprevenidos a los responsables de los Sistemas de Seguridad y Defensa del mundo occidental.

Pues bien, la aportación que realiza la Prospectiva a la Previsión se manifiesta en la práctica en que los modelos de Previsión son utilizados en un determinado marco de hipótesis, fijado previamente por un estudio prospectivo. Es decir, el auge de la Prospectiva no debe conducirnos a rechazar la cuantificación, pues los resultados cifrados de los modelos matemáticos son indispensables para los decisores que quieran apreciar las consecuencias de determinadas acciones.

Lo que ocurre es que esas acciones serán tomadas dentro de un marco de hipótesis determinado. Y a ese marco de hipótesis coherentes es a lo que denominamos *escenario*, y lo proporciona el análisis prospectivo.

Volviendo a la definición de Bertrand de Jouvenel, subrayamos lo ya dicho: que la expresión «exploración de los futuribles» sigue siendo válida en la acepción actual de la Prospectiva y acorde con su metodología.

Efectivamente, la metodología surgida no va en contra de esta definición, sino que lo que ha permitido es cerrar el abanico de todos los futuros posibles (siempre enormemente alto), dejándolo reducido a los futuros probables, para, entre éstos, poder escoger el más favorable, de acuerdo con nuestro sistema de valores.

Después, ya no nos quedaría más (ni menos) que influir en los que llamamos, en Prospectiva, *los actores*, es decir, los decisores, para que tomen las acciones conducentes a ese futuro querido o, al menos, las que evitarían los futuros no deseados.

Con respecto a la Ingeniería de Sistemas se puede decir que con la Investigación Operativa y su «hermana mayor» el Análisis de Sistemas, tienen mucho en común. En particular, comparten muchas de las técnicas analíticas citadas anteriormente. Esto se debe, en gran medida a que los ingenieros de sistemas tienen que evaluar la eficacia de un diseño mediante los mismos métodos que el investigador operativo emplearía con un sistema real.

De un modo simplista se diría que el ingeniero de sistemas desarrolla prototipos, modelos de sistemas reales o ficticios, mientras que el investigador operativo y su heredero, el analista de sistemas, los estudia y explota para optimizar su empleo.

Si concretamos lo dicho e introducimos la metodología, podemos definir la Ingeniería de Sistemas como «la aplicación efectiva de métodos científicos y de ingeniería para transformar una necesidad operativa en una configuración determinada de un sistema, mediante un proceso arriba-abajo iterativo de establecimiento de requisitos, selección del concepto, análisis y asignación funcional, que contemple todo su ciclo de vida».

Y es que, al diseccionar el sistema para su análisis no se puede perder de vista el propio sistema globalmente considerado, de forma que, cuando se plantee una determinada actuación sobre un elemento, tiene que considerarse al mismo tiempo qué interacciones van a generarse con los otros elementos.

El enfoque sistémico impuesto en la Ingeniería de Sistemas es, debido a su amplitud de miras y globalidad, el método de aproximación al problema que nos permite considerar todas las interrelaciones de una manera dinámica, las sinergias que se producen, la diversidad de disciplinas que resultan afectadas, el período de vida en toda su extensión, los diferentes puntos de vista implicados, etc.

Por otra parte, es muy importante destacar que la Ingeniería de Sistemas abarca tanto la ejecución y desarrollo de las técnicas apropiadas como los conocimientos de gestión y dirección necesarios para hacerlos realidad.

Se puede pues decir que la Ingeniería de Sistemas se caracteriza por:

1. Dar un enfoque arriba-abajo, viendo el sistema como un todo. Aunque los trabajos de Ingeniería en el pasado lograron diseños satisfactorios de los diferentes componentes de un sistema (representando solamente una trayectoria «abajo-arriba»), carecían sin embargo de la necesaria visión global y comprensión de cómo debían integrarse eficazmente todos ellos entre sí.

2. Contemplar todo el ciclo de vida del sistema considerando todas las fases que, según Blanchard, son las siguientes: diseño conceptual, diseño preliminar, diseño detallado y desarrollo, producción, utilización y apoyo y retirada del servicio. (Existen otras descomposiciones del ciclo de vida, como la recogida en el método PAPS de la OTAN).
3. Esforzarse en lo relativo a la definición de los requisitos del sistema. Éstos deben estar bien definidos y especificados, y se deben poder seguir en su trazabilidad desde el nivel del sistema hacia abajo.
4. Realizar un esfuerzo multidisciplinar conjunto que incluya todas las áreas tecnológicas y de gestión implicadas e integrando, igualmente, las diferentes visiones o percepciones del sistema.
5. Integrar las ingenierías «especiales» de fiabilidad, mantenibilidad, seguridad, capacidad de ser apoyado, y calidad en una ingeniería total para conseguir los objetivos prescritos en cuanto a prestaciones, planificación y coste.

Tradicionalmente, el ciclo de vida de un sistema se descomponía en dos etapas básicas: la etapa de obtención y la etapa de utilización.

Pues bien, los ingenieros se habían centrado en la etapa de obtención, tratando de conseguir las características técnicas buscadas, pero sin tener en cuenta la globalidad del sistema con sus factores económicos. Para conseguir productos competitivos y en el tiempo adecuado, es necesario hacer uso de la Ingeniería Concurrente. Los ingenieros deben ser sensibles al resultado operativo desde las etapas previas.

En la Ingeniería Concurrente, como ya hemos visto al principio de mis palabras al comentar la definición de Artillería, se consideran tres ciclos de vida: el ciclo de vida propio del sistema estudiado, para nosotros el sistema de armas, el del sistema de producción y el de servicio del producto, es decir, el del sistema de mantenimiento.

El ciclo propio del sistema nace de una necesidad, le sigue el análisis de un conjunto de alternativas al diseño, la selección de un concepto y el diseño preliminar. Durante esta fase se debe comenzar a prestar atención a la producción, es decir, antes de llegar a las fases del diseño detallado y

desarrollo. Se inicia pues el estudio del denominado ciclo de vida del sistema de producción, en el que es necesario realizar las actividades destinadas a disponer de un sistema capaz de fabricar el sistema de Defensa considerado.

El ciclo de vida de servicio del producto, es decir, de su mantenimiento, es olvidado frecuentemente hasta que se completa la producción del producto. Este ciclo debe ser iniciado en paralelo al anterior y sus actividades se orientan al apoyo logístico necesario para dar servicio al producto durante la etapa de uso. Durante la fase de diseño preliminar debe iniciarse ya la planificación de las actividades de apoyo logístico, es decir, del mantenimiento del sistema.

La coordinación entre estos tres ciclos de vida no es fácil de conseguir. Las nuevas tecnologías de diseño, fabricación y apoyo logístico asistido por ordenador (CAD, CAM y CALS) facilitarán esta tarea propia del ingeniero de sistemas. En la actualidad, las más importantes empresas de material de Defensa han cambiado sus procedimientos de diseño para incorporar el enfoque concurrente.

El denominado *proceso* de la Ingeniería de Sistemas es aplicable en todas las fases del ciclo de vida de los sistemas, con énfasis durante las primeras, es decir, las del diseño conceptual y del diseño preliminar del sistema. El objetivo es, primero, influir sobre el diseño de forma eficaz y efectiva y, después, evaluar y mejorarlo mediante una mejora continua del proceso. Todo ello se concreta en determinadas tareas, entre las que se destacan: el *Análisis de Requisitos*, el *Análisis Funcional*, el *Análisis del Apoyo Logístico* y el *Análisis del Coste del Ciclo de Vida*.

Por último, en los resultados del proceso de la Ingeniería de Sistemas, se encuentran las dos vías de aproximación al sistema que facilita la Ingeniería de Sistemas:

- La cognitiva, en la que predominan los aspectos técnicos, de mayor aplicación en las actividades de I+D, que tratan de transformar una necesidad operativa en una configuración determinada, asegurando la compatibilidad de todas las interfaces e integrando todas las ingenierías especiales.

Todo ello es recogido en una documentación técnica que comprende las especificaciones, la documentación de diseño, los documentos de control de *interfaces* y debe llegar hasta los planos y las listas de componentes del sistema.

- La decisional, con un alto componente de gestión, de mayor aplicación en el seguimiento de programas, tanto de I+D como de adquisición, tratando de conseguir los objetivos establecidos en cuanto a prestaciones, plazos de tiempo y costes.

La documentación de gestión viene recogida en el denominado Plan de Gestión de la Ingeniería de Sistemas.

Digamos finalmente con respecto a la Ingeniería de Sistemas, que es difícil limitar el alcance de la tecnología militar, pero tampoco tiene límites la amenaza a la que la sociedad se tiene que enfrentar hoy día, y que es, más que nunca, imprevisible en sus características, alcance, objeto, tipo, lugar de aparición, duración, efectos, procedencia y diversidad. Esta amplitud, junto con la complejidad de los sistemas de Defensa, impide que el sentido común pueda hacer valoraciones objetivas debido al gran número de variables que entran en competencia. La fácil demagogia del pacifismo, el marketing abrumador de los fabricantes, las incertidumbres políticas, económicas, etc. influyen considerablemente en el desarrollo de un sistema. La Ingeniería de Sistemas viene a poner orden en tantas variables, buscando un equilibrio entre su eficacia, el coste y el tiempo de desarrollo. Así pues, cualquier esfuerzo que mejore las características del ciclo de vida de un sistema de Defensa debe considerarse como prioritaria por la trascendencia que tiene para nuestras Fuerzas Armadas.

Por otra parte, y en un sentido más general, en los apartados anteriores hemos intentado poner de manifiesto la necesidad del empleo, en el mundo actual, de instrumentos de ayuda a la decisión basados en el concepto de sistema, el enfoque sistémico y las metodologías que en su marco se han desarrollado.

Pues bien, el papel que el decisor técnico, el ingeniero, juega en esa ayuda a la decisión, tanto en el ámbito militar como en el civil, no ha hecho más que aumentar, haciéndose hoy día imprescindible su intervención.

En la tarea de seleccionar la adecuada tecnología, o su adecuada utilización, para satisfacer las necesidades de Defensa y Seguridad, se habrá de prever el alcance de sus efectos posibles, no sólo sobre las variables económicas e industriales, sino sobre las personas y su entorno local. Todo influye sobre todo. El *enfoque sistémico* se impone y sobre él se ha de contemplar el futuro como una consecuencia de las acciones tomadas en el presente.

La aportación a esta labor de las Nuevas Tecnologías de la Información es fundamental y revolucionaria.

Con ellas trataremos el nuevo recurso, la información, en sus variadas formas de textos, datos e imágenes (la microelectrónica, las telecomunicaciones, la informática, la automatización) y en su nueva forma de conocimiento (la inteligencia artificial, los sistemas expertos), con el aporte espectacular de los últimos desarrollos informáticos (simulación visual, animación, realidad virtual).

Por otra parte, la necesidad de la relación de las Fuerzas Armadas con los medios de comunicación, así como con el resto de la sociedad y de los organismos del Estado, unida a la profesionalización de nuestros ejércitos y a las misiones internacionales a ellos encomendadas, exigen una coordinación en la implantación de los Sistemas de Información y Telecomunicaciones, con implicaciones que llegan al más alto nivel de decisión.

Dichos sistemas son la base de nuestros Sistemas de Mando y Control, con necesidades crecientes de interoperabilidad, flexibilidad y modularidad, como seguramente nunca han sido exigidas a ningún sistema creado por el hombre.

Por ello, es necesaria la exigencia a los responsables de la implantación y de la adecuada utilización de las Nuevas Tecnologías de la Información en el ámbito de la Defensa –es decir, tanto al planificador como al ingeniero– de adoptar una actitud nueva, que parta del convencimiento de la necesidad del cambio y le permita asumir un papel de protagonista frente al futuro.

Esta actitud, que se ha llegado a llamar «espíritu de frontera», como heredera del espíritu exploratorio geográfico de otras épocas, es la *actitud prospectiva* cara al futuro.

En realidad al igual que el Análisis de Sistemas, la Ingeniería de Sistemas y la Investigación Operativa, la Prospectiva no es más que una tecnología que se incorpora al resto de las Nuevas Tecnologías de la Información.

Permite, además, irse adaptando a la evolución de los acontecimientos pues, aunque considera siempre el futuro como plural e incierto, ayuda al decisor a definir, tanto las acciones de configuración del futuro al que aspira, como las de compensación de los efectos nocivos provocados por el acaecimiento de sucesos perjudiciales a sus intereses.

Pues bien, este *enfoque prospectivo y sistémico* exige la consideración, bajo el punto de vista de la Defensa, no sólo de los Sistemas de Información y Telecomunicaciones de las unidades militares y de los organismos de la Defensa, sino de toda la sociedad.

Es decir, en nuestra época, la imbricación entre la Tecnología y la Defensa, entre la Ingeniería civil y la Ingeniería militar, no está solamente en la concepción y el desarrollo de las tecnologías, como en épocas anteriores, sino en su posterior uso, tanto militar como civil.

En los próximos años será relevante en el campo de la Ingeniería la convergencia de las tecnologías civil y militar, ya iniciada claramente en el área de la electrónica y las telecomunicaciones, donde es habitual hablar de tecnologías duales, productos COTS (*Commercial off the shelf*), satélites de uso privado y de Defensa, etc.

Determinados autores han prevenido ya sobre la Guerra de la Información. La vulnerabilidad de los Sistemas de Información pasa a ser motivo de creciente atención, pues es fácil imaginar las consecuencias catastróficas de la destrucción o del sabotaje de un sistema informático crítico o de una red de telecomunicaciones vital para la supervivencia de un país.

A medida que la Sociedad de la Información se implanta, el número de puntos vitales crece espectacularmente y su vulnerabilidad total aumenta.

Creemos que, al igual que en la Era Agrícola, los ejércitos se debían ocupar no sólo de combatir al enemigo, sino también de la protección de las personas, los cultivos y la ganadería; y en la Era Industrial, las instalaciones

fabriles pasan a ser objetivos prioritarios del enemigo y, como consecuencia, motivo de custodia y protección; análogamente, en esta Era de los Sistemas, los variados sistemas que se generan, deberán ser también motivo de atención por los responsables de la Defensa, con intervención activa de la Ingeniería militar, que, con su actitud prospectiva y sistémica, habrá participado en su diseño, implantación estratégica y adecuada utilización, en íntima colaboración con la Ingeniería civil de la que, en la convergencia citada, estará empleando, en sus propios sistemas militares, muchos de los productos, desarrollos, sensores, redes, satélites, normas y protocolos, en suma, los instrumentos y métodos de trabajo, desarrollados por la Ingeniería civil.

Colofón

Estamos llegando al final. En la primera parte de mi discurso, en el que he intentado relatar sucintamente la historia española de la Ingeniería militar, he tratado también, como dije más arriba, de rendir homenaje a los que me han precedido en su ejercicio, citando a algunos de los que considero ejemplares, destacando su contribución al desarrollo de España, y de los que la Historia nos dice que asumieron su papel con una gran dignidad, buscando con igual ahínco su preparación técnica como el eficaz y competente empleo de sus conocimientos y, siempre, con una firme voluntad de servicio.

Debemos hoy, los ingenieros militares, ser dignos sucesores de aquellos hombres, militares y científicos, tratando de conseguir nuestra adecuada y permanente formación para el ejercicio de nuestros cometidos, siendo siempre conscientes de la responsabilidad que adquirimos, ante la sociedad, de su correcta y adecuada utilización.

Hemos visto también que, llegados los siglos XIX y XX, surgen las ingenierías civiles con campos diferentes de actuación, aunque en las dos guerras mundiales del último siglo se cerró la separación existente con la ingeniería militar al ponerse la ciencia al servicio de los responsables de la conducción de las operaciones.

Y hoy día, en la Era de la Información, existe una convergencia tecnológica fruto del empleo, bien militar, bien civil, de las Nuevas Tecnologías de

la Información, a la vez que se manifiesta la gran vulnerabilidad de la sociedad actual.

Ante estos hechos, he tratado de presentar lo que podíamos llamar la *Estrategia de lo «deseable»* frente la *Estrategia de lo «real»*.

El pensamiento clásico de la *Estrategia de lo real* se apoya en un proceso intelectual en el que la lógica y la argumentación reposan en las enseñanzas de la Historia. La Polemología es su ciencia de base y sus leyes permiten la extrapolación de las conclusiones, o principios de actuación, desde un cierto contexto a otro similar del momento actual o futuro.

En cambio, la *Estrategia de lo deseable* difiere sensiblemente de la actitud mental anteriormente expuesta pues pone en duda la linealidad del proceso de relación causa/efecto y encauza su proceso mental hacia la exploración, con imaginación y creatividad, de los futuros posibles, en esa actitud que hemos denominado, reiteradas veces, *prospectiva*.

En este contexto innovador del planeamiento, la convergencia tecnológica de las Ingenierías militar y civil deberá dar sus frutos en el campo de la Seguridad y Defensa, al buscar conjuntamente la existencia y disponibilidad de la Lanza y el Escudo adecuados para la garantía del progreso, del bienestar social y de la Paz.

Esto es todo. Muchas gracias por su atención.

RICARDO TORRÓN DURÁN