

RETOS DEL CUERPO DE INGENIEROS DE LA ARMADA EN UN ESCENARIO DE OPORTUNIDADES

Manuel Antonio MARTÍNEZ RUIZ



(Ing.)

Orígenes del Cuerpo de Ingenieros de Marina



L 10 de octubre de 1770 el rey Carlos III firmó la Ordenanza de creación del Cuerpo de Ingenieros de Marina, donde en su preámbulo dice:

«Por cuanto conviniendo a mi servicio crear un Cuerpo de Ingenieros de Marina a cuyo cargo se construyan, carenen, recorran, cuiden los bajel-les, se fabriquen edificios y practiquen las demás operaciones correspondientes a este cuerpo facultativo y militar en mis puertos, arsenales, montes, a bordo de mis navíos y escuadras de guerra... y siendo de la mayor importancia se componga de sujetos hábiles en la teórica y práctica de esta profesión, he resuelto su establecimiento y el de una academia para instrucción de subalternos

de dicho Cuerpo y su régimen así militar como facultativo y económico y quiero que uno y otro se gobierne por esta ordenanza.»

De un análisis literal de la mencionada Ordenanza se derivan ideas que bien podrían ser aplicables a la problemática de nuestro tiempo.

- Se crea un Cuerpo que tiene dos características: es facultativo y es militar.
- Se indica la necesidad de construir en base a métodos científicos.
- Asigna al Cuerpo Ingenieros de Marina competencias en el ciclo de vida completo de los buques.

- Se reconoce la necesidad de disponer de infraestructuras para apoyo a la construcción y ciclo de vida.
- Se pone énfasis en el carácter multidisciplinar del Cuerpo al requerir «sujetos hábiles» en la teoría y práctica de la profesión, e incorpora aspectos como la gestión de montes, maderas, arsenales, etcétera.
- Se incluye la formación de personal a través de una academia para la instrucción de cadetes, con un régimen militar, técnico-facultativo y económico, es decir, similar a una de nuestras modernas escuelas.

Como se puede apreciar del texto literal, la creación del Cuerpo de Ingenieros de Marina se organiza desde una perspectiva global, e incluso se podría decir que en dicha Ordenanza está reflejado el embrión de los que ahora llamaríamos factores MIRADO (1).

Desde entonces hasta nuestros días, la ingeniería de la Armada ha pasado por diversos avatares, que se exponen en este número monográfico de la REVISTA GENERAL DE MARINA.

Básicamente, la idea inicial de este gran rey era crear un cuerpo facultativo y multidisciplinar de personal experto que hiciera frente a la creciente tecnificación de las unidades de la Armada en el siglo de la Ilustración y obtener ventaja operativa, aplicando para ello el método matemático y los esquemas de construcción naval más modernos de la época.

La creación del Cuerpo se puede considerar un hito histórico para la Armada, al igual que la del Real Cuerpo de Artillería de Marina, que es origen de los ingenieros de armas navales y era la rama de la técnica que complementaba la construcción naval.

Personajes históricos

La nómina de personajes ilustres del Cuerpo de Ingenieros de la Armada, fundado como Cuerpo de Ingenieros de Marina, es muy extensa y no se circunscribe a las fechas de creación del mismo. Personajes como Gaztañeta y Autrán —aun siendo excelentes constructores, con gran experiencia y habilidad como carpinteros— no tenían la base científica necesaria como para considerarlos precursores del Cuerpo de Ingenieros de la Armada. En este sentido, se pueden asemejar a los constructores de catedrales de la Edad Media que, sin tener los conocimientos de cálculo de estructuras ni de resistencia de materiales, eran capaces de levantar los más imponentes edificios de la cristiandad.

(1) MIRADO: Material, Infraestructura, Recursos, Adiestramiento, Doctrina y Organización.

Jorge Juan fue uno de los personajes fundamentales, ya que contribuyó a la creación de una Marina científica, pero en ningún caso se puede pensar que apostara por la creación de un cuerpo patentado que unificara el conocimiento empírico de la época con los principios científicos de la construcción naval, como la mecánica de fluidos, el cálculo infinitesimal, la geometría, etcétera.

No obstante, a él se debe el *Examen Marítimo*, primer compendio de principios físico-matemáticos que puede considerarse el precursor de lo que después sería la denominada ingeniería naval.

Se puede decir que el creador del Cuerpo fue Francisco Gautier, que fue su primer ingeniero general, y del que con seguridad se tratará extensamente en otros artículos y publicaciones asociadas a este aniversario.

Ilustres «jefes del Cuerpo» fueron Romero Fernández de Landa, responsable de su refundación y autor del *Reglamento de maderas*, y Martín de Retamosa. Otros nombres como Tomás Muñoz y Calvera, Fernando Casado de Torres e Irala, Joaquín Maximiliano de la Croix y Vidal, Juan José Ruiz de Apodaca y Eliza—primer conde de Venadito—, fueron los grandes precursores de la ingeniería de la Armada.

Muchos otros han sido los personajes ilustres del Cuerpo de Ingenieros de Marina que estuvieron no solamente relacionados con la construcción naval, sino que además participaron en proyectos de diversa índole debido a su especial formación y capacidad de liderazgo.

Como se muestra en el presente número monográfico, el Cuerpo de Ingenieros de la Armada ha tenido una historia algo convulsa, lo que no es más que el reflejo de la historia de la Armada y en definitiva de la Historia de España durante los siglos XVIII al XXI.

Pero siempre que la Armada lo ha necesitado, su Cuerpo de Ingenieros ha estado a la altura de las circunstancias, aportando lo mejor de su capital, que no es más que el personal que en cada momento histórico ha sido miembro orgulloso del mismo.

Situación actual

El actual Cuerpo de Ingenieros de la Armada (CIA) se constituye como tal en el año 1967 (2), cuando se consigue la unificación de los Cuerpos de Ingenieros Navales de la Armada e Ingenieros de Armas Navales y los ingenieros de electricidad de la Armada de los Cuerpos General y de Máquinas.

Desde entonces el CIA ha participado en todos los grandes programas navales de la Armada adoptando un rol fundamental en las distintas responsabilidades asignadas y siendo el interlocutor único con la industria en gene-

(2) Ley 61/1967 de 22 de julio.



Figura 1.

ral y con el astillero en particular. Bajo el liderazgo y supervisión del CIA se han desarrollado importantes programas de construcción (figura 1), en los que es necesario poner énfasis en los aspectos clave:

- Desde los años 70, el modelo de obtención de capacidades ha permitido una progresiva «nacionalización» de los buques, al pasar de una construcción basada en diseños extranjeros y construcción nacional a un modelo donde la autoridad de diseño y la producción son totalmente nacionales.
- Este modelo ha consolidado una industria sólida que ha ido fortaleciéndose con el tiempo, asumiendo en cada paso una mayor responsabilidad en aspectos de diseño y en la asunción de tecnologías críticas.
- La industria se ha especializado, y por lo tanto conviven los grandes astilleros con las empresas especializadas en sensores y sistemas y con otra pléyade de pequeñas y medianas compañías punteras en tecnología.
- A todo ello se suma la creación de empresas de ingeniería específicas en el ámbito naval, que son la base de la ingeniería de los nuevos programas.
- Asimismo también se ha consolidado una muy importante industria auxiliar que gira alrededor de los grandes proyectos de construcción, y que gracias a ellos ha sido capaz de posicionarse en el mercado internacional con gran éxito.

La trayectoria industrial de los programas navales descrita anteriormente ha tenido siempre a la ingeniería de la Armada como una institución dedicada al servicio a España, con vocación de excelencia y con ánimo para aportar lo mejor en un escenario de transformación tecnológica continua.

Históricamente, el CIA ha ido adaptándose a las necesidades de la Armada, de forma que en 1997 las tres ramas del Cuerpo se transforman en especialidades fundamentales, y en 2003 se concentran en una sola (3). Debe entenderse que en un buque conviven múltiples especialidades: las meramente de arquitectura naval con la necesidad de acomodar planta propulsora, sistemas integrados, comunicaciones y los requisitos de largas permanencias en la mar.

El Plan Bolonia impuso unas nuevas condiciones para el ingreso en el CIA, debido a la necesidad de organizar un cuerpo con necesidades muy variadas y perfiles muy diversos: escala EOF (Escala Oficiales) mediante la acreditación de un máster y escala ETO (Escala Técnica Oficiales) con un nivel de grado; en ambos casos, en las especialidades establecidas por ley.

Fruto de los diferentes perfiles de acceso del personal, en 2019 se establecieron las especialidades complementarias siguientes:

— EOF

- Ingeniería Naval (IN).
- Ingeniería de Armas Navales (IAN).
- Ingeniería de Electricidad, Electrónica y Telecomunicación (IE).
- Ingeniería de Infraestructuras (IIN).

— ETO

- Ingeniería Técnica Naval (ITN).
- Ingeniería Técnica de Armas Navales (ITAN).
- Ingeniería Técnica de Electricidad, Electrónica y Telecomunicación (ITE).
- Ingeniería Técnica de Infraestructuras (ITI).

Por ello actualmente los ingenieros de la Armada se nutren de todas las áreas de conocimiento relacionadas con las necesidades de una Armada moderna y tecnificada, con visión de futuro y teniendo en cuenta los nuevos requisitos de sostenibilidad y medio ambiente.

Hay que mencionar que si bien en 1967 se indicaba que el recién creado Cuerpo de Ingenieros de la Armada estaría constituido por 109 miembros solo

(3) Real Decreto 207/2003 de 21 de febrero.

entre los empleos de vicealmirante y capitán de corbeta, actualmente (4) lo conforman 295 oficiales de las cuatro escalas: EOF y ETO y las correspondientes de complemento.

La distribución por especialidades actualmente es la siguiente (5):

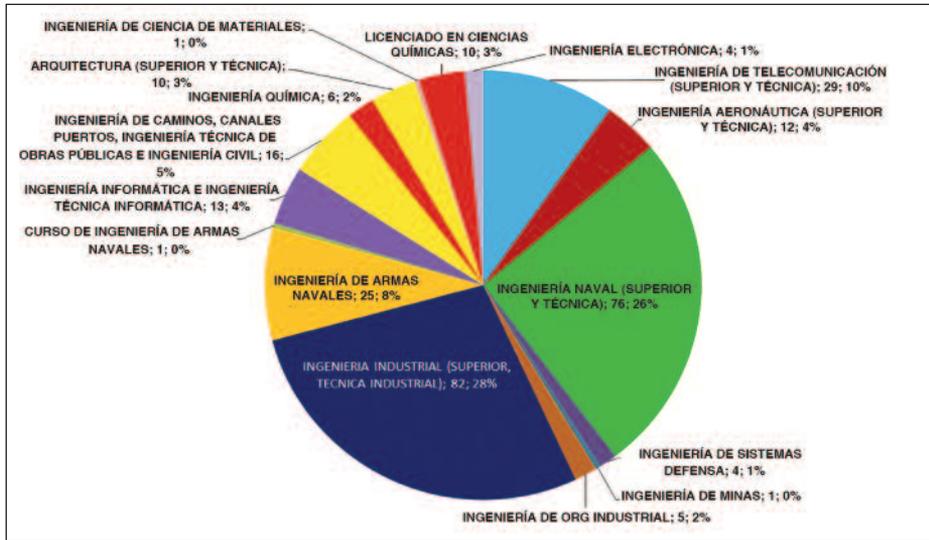


Figura 2. (Elaboración propia).

Se aprecia que hay cierto desequilibrio entre especialidades, así como una notable dispersión de las áreas de conocimiento, que es necesario corregir con el objeto de que el perfil general de especialización del CIA se adapte a las medidas impuestas por los nuevos escenarios de obtención y sostenimiento.

Concretamente, la titulación de Ingeniería Naval debería incrementarse porcentualmente para que constituya en torno a 1/3 del número total de efectivos del Cuerpo debido a su carácter específico. Recientemente hay aspectos tales como vehículos no tripulados submarinos y de superficie y todo lo relacionado con la acústica submarina que amplían la base de conocimiento de la titulación.

La ingeniería de telecomunicación es muy afín a aspectos relacionados con la de sistemas, al igual que gran parte de las otras titulaciones, y con la transformación digital, y tiene una diversidad de aplicaciones que la hacen muy atractiva para el Cuerpo de Ingenieros de la Armada. Anteriormente esta espe-

(4) Fuente: SIPERDEF, diciembre 2019.

(5) Datos consolidados de 2019.

cialidad se cubría con los ingenieros electrónicos formados en la ETEA (6), y atendía a todo lo relacionados con la alimentación de sistemas y con las características de los sensores a bordo. Actualmente es más amplia y abarca aspectos de la ingeniería de *software*, sistemas de comunicaciones y tecnologías críticas de sensores, sistemas de combate, tecnologías 4.0 y ciberseguridad. Por ello es necesario aumentar algo su peso.

Una de las titulaciones que es necesario reforzar con vistas a la cada vez más demandada necesidad de expertos en sistemas de armas e ingenieros de sistemas navales es la Ingeniería de Armas Navales. Sistemas nuevos basados en energía dirigida, sistemas láser y nuevas generaciones de misiles supersónicos e hipersónicos requieren formar personal realmente experto en esta área de conocimiento. Actualmente es un 8 por 100 del total de personal del Cuerpo, por lo que es necesario un plan a medio plazo para incrementar los egresados de la ETSIAN (7) y reformar la titulación para abordar un nuevo corpus de conocimiento.

Los requisitos de certificación de sistemas aéreos, así como la incorporación de nuevos sistemas tripulados y no tripulados hacen que la especialidad de Ingeniería Aeronáutica deba ligeramente tener un mayor número de efectivos en el Cuerpo de Ingenieros con objeto de satisfacer las necesidades del grupo de sostenimiento y las específicas de la ingeniería de adquisición y de ciclo de vida.

Los nuevos requisitos de los sistemas de propulsión independiente de la atmósfera (AIP), incluyendo la tecnología de pilas de combustible, nueva generación de baterías y nuevos materiales, reclaman que una de las especialidades que hay que potenciar en el Cuerpo de Ingenieros es la Ingeniería Química.

Los requerimientos de personal experto en infraestructura se atienden básicamente con las titulaciones de Arquitectura, Ingeniería de Caminos e Industriales. Las dos primeras actualmente acaparan el 8 por 100 de la plantilla, siendo necesario que aumente este porcentaje ligeramente para abordar los procesos de obtención de las necesidades de infraestructura vinculadas con el Planeamiento Militar y con otros objetivos del Departamento, así como también las actuaciones de Medioambiente y Eficiencia Energética.

Retos y escenarios para el Cuerpo de Ingenieros de la Armada

Se puede decir que el mundo actual está gobernado por la tecnología. Los dispositivos móviles son cada vez más potentes y asequibles. La industria se está digitalizando en aras de una mayor eficiencia y las organizaciones

(6) ETEA: Antigua Escuela de Transmisiones y Electricidad de la Armada.

(7) ETSIAN: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales.

se transforman para hacer frente a una sociedad más compleja, donde la sostenibilidad ambiental es una necesidad y, por lo tanto, un requisito para los nuevos sistemas de armas.

Por otra parte, los escenarios de operación de las fuerzas navales son impredecibles y las amenazas a las que tienen que hacer frente, cambiantes y difusas. Asimismo, la situación geoestratégica y la globalización hacen que la seguridad de las rutas marítimas sea fundamental, ya que la mayor parte de los suministros que llegan a España lo hacen por mar, y quien tiene el control del mar tiene el control de la logística de un país o una región y, por lo tanto, el control de su PIB.

Los programas son cada vez más complejos y requieren un conocimiento multidisciplinar, que incluye gestión de riesgos, seguimiento financiero del programa, conocimiento de herramientas de gestión de proyectos e integración con las plataformas digitales de la industria.

A todo ello se une la reciente centralización de los Programas en un único Órgano Directivo, con ciertas ventajas a la hora de coordinar mejor la interlocución con la industria pero con la desventaja de dispersar el conocimiento intrínseco de la ingeniería de la Armada, lo que podría hacer que personal externo al CIA asumiera funciones hasta ahora reservadas a los ingenieros de la Armada.

Por ello, se puede decir que los escenarios de trabajo en los que deben integrarse los ingenieros de la Armada se caracterizan por lo siguiente:

- Una tecnología desbocada, que obliga a un gran esfuerzo de prospección para apostar por tecnologías posibilitadoras que sean realistas para la industria nacional y que den lugar al desarrollo de sistemas operativos y sostenibles. Esto se deberá plasmar en la lista de tecnologías críticas del Ministerio de Defensa con sus correspondientes planes directores.
- Una cada vez más amplia digitalización que afecta a la industria y a las organizaciones, entre ellas los órganos directivos de la SEDEF y la Armada. Esta digitalización tiene como consecuencia un nuevo paradigma de desarrollo del producto, así como de su supervisión, que deben hacer las oficinas de programa y la Armada a través de sus organismos específicos. Ello requiere una explotación eficiente del gemelo digital de los nuevos buques y sistemas.
- Entorno de trabajo orientado a objetivos e integrado con la industria.
- Un escenario que obliga al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y que debe ser tenido en cuenta en el proceso de obtención y, muy especialmente, en la elaboración de requisitos.
- Profundo conocimiento de los sistemas y de su uso a bordo.
- Ambiente de amenazas a medio/largo plazo, que cada vez se acorta más y se vuelve más impredecible.

- Un marco económico restrictivo en un momento en el que las futuras unidades de la Armada serán altamente sofisticadas y con un coste de sostenimiento extremadamente elevado.
- Transversalidad de tecnologías, que hacen que los tradicionales dominios de conocimiento se queden obsoletos y requieran una formación continua del personal del Cuerpo de Ingenieros.
- Superespecialización en el primer tercio de carrera, que debe dar lugar a una visión más sistémica conforme se avanza en la misma hasta llegar a puestos de jefaturas de sección o de programas que requieran del individuo un papel de impulso y liderazgo de organizaciones.
- Entorno industrial con vocación europea y una progresiva separación de adquisiciones de tipo FMS (8).

Los ingenieros de la Armada del siglo XXI

A lo largo de 250 años la ingeniería de la Armada ha sabido adaptarse a la situación particular de cada época histórica. Actualmente se puede decir que estamos en un momento de transformación profunda que no debe ser ajena a los ingenieros de la Armada. La ingeniería en general es el motor de la transformación de la sociedad y el futuro del CIA está en su capacidad de adaptación como organización a estos nuevos tiempos con nuevas formas de trabajar y pensar. Por ello, la ingeniería de la Armada del futuro (que es donde ya estamos) debe ser capaz de:

- Dotar de personal experto a los organismos con responsabilidades en investigación, desarrollo, innovación y prospección tecnológica, especialmente en áreas relacionadas con inteligencia artificial, nuevas tecnologías, nuevos materiales, tecnologías sostenibles y ciberseguridad.
- Proporcionar personal experto a los organismos con responsabilidades de obtención de armamento, material e infraestructura, especialmente en lo relativo a ingeniería de sistemas y organización industrial.
- Dotar de personal experto en ingeniería de requisitos y en el uso de herramientas de modelización específicas para apoyar a los estados mayores en la modelización de soluciones que permitan elaborar unos requisitos «cumplibles» en coste y funcionalidad, para lo cual es necesario un conocimiento profundo de los modelos aplicados en la industria.

(8) Foreign Military Sales: programa del Departamento de Defensa de los Estados Unidos para facilitar la venta de armas, equipamiento de defensa, servicios de defensa y entrenamiento militar a otros países.

- Proporcionar personal experto en ingeniería logística, entendiendo por ello todo lo relacionado con los requisitos de apoyo logístico integrado desde una óptica de ingeniería de sistemas.
- Proporcionar personal habilitado para la jefatura y dirección técnica de programas navales o conjuntos con un conocimiento profundo de ingeniería de sistemas, gestión de riesgos y modelos de organización.
- Proporcionar personal experto en supervisión de ingeniería de desarrollo y producción, especialmente relacionada con los nuevos procesos de obtención.
- Disponer de personal experto que asuma responsabilidades de ingeniería de ciclo de vida de sistemas navales.
- Disponer de personal con conocimiento profundo de las organizaciones y procesos de trabajo desarrollados bajo el paradigma de la digitalización.
- Liderar en procesos de certificación de unidades.
- Dirigir funciones de aseguramiento de la calidad de productos y procesos industriales.
- Gestionar las tareas relacionadas con la obtención de la infraestructura, la protección del medioambiente y la conservación de nuestro patrimonio arquitectónico y monumental, fruto de nuestra historia.

Todo ello en un entorno de trabajo basado en plataformas digitales interoperables con las de la industria, estableciendo nuevos procesos de trabajo más horizontales que faciliten la gestión y control de actividades. Asimismo, es necesario desviar la visión tradicional orientada a unidades, concretamente buques, y reorientarla a «sistemas interconectados» en todos los dominios: marítimo, aéreo, espacial, ciberdefensa, tecnológico, ambiental y sostenible.

Para que esto sea posible es necesario reorientar el Cuerpo de Ingenieros de forma que pueda atender todos los cometidos anteriores en los escenarios mencionados. Por lo tanto, hay que hacer una aproximación cualitativa y cuantitativa del problema.

Aproximación cualitativa

Ya se ha comentado la situación actual del Cuerpo de Ingenieros de la Armada y el camino a seguir para que las titulaciones y especialidades sean más homogéneas, de manera que se permita que el personal pueda progresar en su carrera de una forma ordenada y a la vez se dé satisfacción a la demanda cada vez más creciente de personal técnico en todos los ámbitos de la Armada. Parece necesario, por tanto, racionalizar la actual dispersión de especialidades de ingeniería que existen en el Cuerpo, por lo que se ha establecido un objetivo

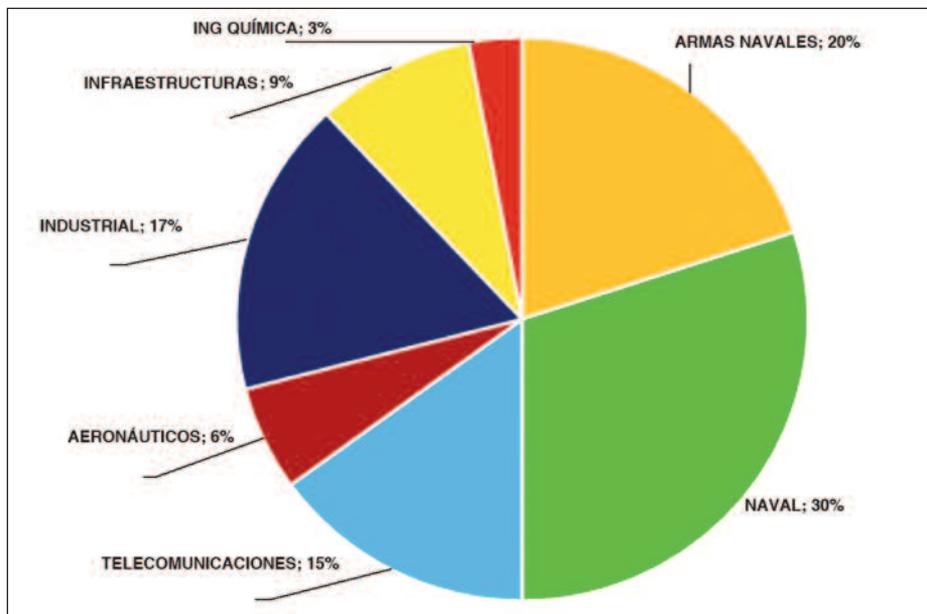


Figura 3. (Elaboración propia).

a medio plazo para homogeneizar las que se consideran más necesarias para abordar los retos presentes y futuros. De esta forma se consigue:

- Reforzar la especialización en Armas y Sistemas Navales de forma que se atienda desde la óptica de la ingeniería de sistemas a la problemática específica del armamento naval como un elemento integrado en el «sistema buque».
- Reforzar la especialización en Ingeniería Naval, incluyendo arquitectura naval, propulsión, integración de sistemas de plataforma, incluyendo técnicas FBW (9), submarinos, etcétera.
- Reforzar la especialización de Ingeniería de Telecomunicaciones, especialmente en el área de sistemas de control, sensores, proceso, comunicaciones y ciberdefensa.
- Ingenieros aeronáuticos preparados para las exigencias presentes y futuras de los sistemas aéreos de la Armada, tanto tripulados como no tripulados, y que puedan atender las necesidades de certificación de aeronaves y submarinos.

(9) *Fly-by-wire* en aeronaves y submarinos.

- Reforzar la especialización en Ingeniería Civil, tanto a nivel de ingenieros industriales como de civiles y arquitectos, dedicados a la infraestructura de la Armada y de los sistemas navales.
- Perfiles definidos de Ingeniería Química para solucionar aspectos relacionados con las pólvoras y explosivos y también con los sistemas de propulsión independientes de la atmósfera, nueva generación de baterías y análisis de requisitos ambientales.

Adicionalmente a lo anterior, es fundamental que el personal del CIA tenga acceso a másteres específicos en gestión y planificación de programas de armamento y material y gestión de calidad, a especialidades de segundo ciclo, especialmente de gestión logística, a cursos monográficos de sistemas de armas, otros que permitan la certificación de ingeniería de sistemas (INCOSE) y de estimación de costes y metodologías de valor ganado.

Es necesario seguir apostando por que el personal del CIA tenga facilidades para la realización de cursos de doctorado y sus correspondientes tesis, tanto en el ámbito de la ETSIAN como en las escuelas de ingeniería que se consideren. En este sentido la valoración de las mismas debería ser equivalente a la de un Curso de Estado Mayor o similar.

Debe seguirse la actual tendencia de que haya oficiales del CIA que hagan el Curso de Estado Mayor, con objeto de integrarse en EE. MM. nacionales e internacionales. La creciente tecnificación de las organizaciones y su impacto en los procesos de toma de decisiones del mando obligan a que el perfil de ingeniero de Estado Mayor siga siendo fundamental.

De esta forma se podría asegurar que cualitativamente el CIA estará preparado para hacer frente a los retos más demandados en una Armada enormemente tecnificada y en un escenario incierto en términos económicos y estratégicos.

Aproximación cuantitativa

Se ha mencionado anteriormente que el CIA está conformado actualmente por unos 295 oficiales de las cuatro escalas. Si bien la dimensión de la plantilla está regulada por ley, una Marina tan tecnificada como la nuestra no puede abarcar todo lo anterior sin una mínima masa crítica. Además, se considera fundamental asegurar que el personal del CIA tenga una adecuada progresión de carrera en todas las escalas y promover un escenario de trabajo que garantice su satisfacción personal.

Las jefaturas de ingeniería de los arsenales se han convertido en el núcleo de la ingeniería de construcción y ciclo de vida, de forma que se potencia la colaboración con las jefaturas y servicios técnicos de mantenimiento.

También se ha creado una estructura en la Dirección de Ingeniería y Construcciones (DIC) (10) que es responsable de la coordinación de los programas de obtención con el resto de la Armada, y en particular con la ingeniería y el apoyo logístico integrado, además de trasladar al EMA aquellas cuestiones relacionadas con los requisitos y la entrada en servicio de las unidades. La ingeniería de la Armada debe seguir proporcionando personal con conocimiento específico a los programas de obtención, a las estructuras de aseguramiento de la calidad y a los proyectos internacionales que lo demanden, así como gestionar los proyectos de infraestructura de la Armada.

Con todo lo anterior, a medio y largo plazo, el dimensionamiento del CIA que permitiría asegurar el cumplimiento de los cometidos descritos anteriormente y que se corresponden con lo exigido por una Armada enormemente tecnificada ascendería a unos 350 oficiales con una proporción equilibrada entre ingeniería, construcción, mantenimiento, sistemas CIS y ciberdefensa, infraestructura y aportación al Órgano Central en Oficinas de Programa y aseguramiento de la calidad.

El análisis se ha realizado teniendo en cuenta los actuales requisitos de personal identificados en base a un análisis por capacidades de los órganos afectados.

Con la previsión de personal que pase a la reserva hasta 2050 y los objetivos de plantilla expuestos, la tasa de reposición en las escalas EOF y ETO es de seis y tres respectivamente y, además, para asegurar la progresión de la carrera es necesario dimensionar adecuadamente las escalas de complemento, de forma que se disponga de una pirámide de personal equilibrada. Además, no se puede crear un escenario de frustración en la ETO, donde la progresión en la carrera es muy complicada y demasiado coyuntural, siendo necesario, por una parte, dimensionar adecuadamente la pirámide de efectivos y por otra estudiar medidas que favorezcan la promoción interna de ETO a EOF sin pérdida de antigüedad. Con todo esto, es necesario establecer un mecanismo de supervisión de la dinámica de progresión de la carrera y demás aspectos orgánicos.

Por ello, los retos tanto a nivel cualitativo como cuantitativo son grandes en un escenario restrictivo de personal y de dotación presupuestaria.

Conclusión

El Cuerpo de Ingenieros de la Armada cumple 250 años de trayectoria, no exenta de las dificultades propias de avatares históricos de los siglos XVIII a XXI. Siempre que la Armada lo ha necesitado, sus ingenieros han estado dispo-

(10) OSCP: Oficina de Seguimiento y Coordinación de Programas.

nibles para impulsar la construcción naval y la infraestructura de la Armada.

Básicamente se puede concluir que la ingeniería de la Armada abarca todo el ciclo de vida de los sistemas navales, desde la ingeniería de requisitos, aplicando modelos matemáticos a la redacción de requisitos verificables, pasando por la ingeniería de diseño y producción, a través del uso conjunto de herramientas digitales interoperables con la industria, hasta la ingeniería de sostenibilidad, relacionada íntimamente con las anteriores ya que las estrategias de mantenimiento y aprovisionamiento se derivan de los criterios de diseño y métodos de producción empleados. Todo ello con la necesidad de disponer de expertos en prospección, investigación y desarrollo e innovación y de expertos en ingeniería logística y apoyo logístico integrado. Todo este corpus de conocimiento, llamado «conocimiento intrínseco», reside en las personas que conforman el Cuerpo de Ingenieros de la Armada, en su experiencia y en su interacción continua con las organizaciones y con la industria en todas las fases del proceso productivo. Por eso, es necesario mantener este gran activo para conseguir el objetivo final de hacer más eficiente el proceso de obtención y sostenimiento de sistemas navales.

Los retos son enormes y el trabajo que queda por hacer es apasionante, tanto para los jóvenes ingenieros como para aquellos que están en la mitad de su recorrido. Los que estamos ahora en puestos directivos al final de nuestras carreras solo podemos decir que hemos intentado hacer bien nuestro trabajo, transmitiendo nuestra experiencia e impulsando nuevas iniciativas, como ya lo pretendieron los Gautier, Landa, Retamosa y otros tantos hasta nuestros días, que con su ilusión y buen hacer consiguieron que los buques de la Armada española fueran los mejores de su tiempo.

Queda mucho por hacer, y solo adaptándose a los nuevos tiempos y siendo eficaces y útiles a la Armada y a España podremos asegurar que dentro de otros 250 años alguno de nuestros ingenieros escriba un artículo celebrando el medio milenio del Cuerpo de Ingenieros de Marina.

