

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN LA ARMADA DE CHILE

EXPERIENCIAS DE 25 AÑOS.

José Maldifassi Pohlhammer *



Introducción.

Para todos los entendidos en materias estratégicas es innegable el hecho de que la tecnología empleada por las Fuerzas Armadas (FF.AA.) en un conflicto es una

variable estratégica de tal importancia, que puede llegar a significar la victoria o la derrota en una batalla. Reconociendo este hecho, los países industrializados han destinado ingentes recursos humanos y materiales al desarrollo de los sistemas de armas que les permitirán la ventaja estratégica aludida.¹

Por motivos económicos, técnicos y de tiempo, la mayoría de los países semiindustrializados históricamente han privilegiado la adquisición de sistemas de armas en los países industrializados por sobre el desarrollo propio de los mismos. En la medida que las capacidades tecnológicas e industriales en los países semiindustrializados han mejorado, esta estrategia de adquisición ha evolucionado hacia una estrategia de desarrollo local. Este cambio de énfasis ha significado que, en la búsqueda de una mayor independencia tecnológica y política, se presenten una serie de inconvenientes de índole tanto práctica como institucional a los cuales se ha debido hacer frente y buscar soluciones.

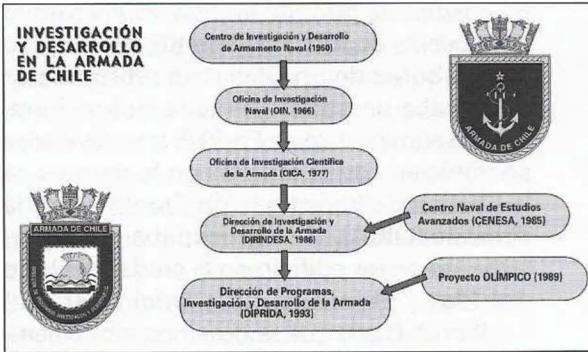
El presente trabajo expone cómo la Armada de Chile ha enfrentado el desarrollo de tecnología de defensa basada en la capacidad local para ello, y cuáles han sido las experiencias que de este proceso se pueden derivar. Se presentará en primera instancia el devenir histórico de la función de investigación y desarrollo (I y D) en la Armada de Chile, cuáles son las organizaciones actuales que llevan a cabo estas actividades, cuáles han sido las principales áreas a las cuales este esfuerzo se ha encaminado y finalizando con las experiencias derivadas de estos veinticinco años de esfuerzo sostenido.

Breve Historia de la Investigación y Desarrollo en la Armada de Chile.

Como toda Institución que cuenta con personal calificado puede comprobar, el ingenio y la curiosidad inducen a estas personas a investigar y experimentar con aquello que tienen a la mano. En el caso de la Armada de Chile las actividades de tipo científico-tecnológicas se pueden remontar a lo largo de la historia. Una de las primeras actividades documentadas oficialmente al respecto ocurrió en 1902 cuando, recién conociéndose la telegrafía, desde tierra se intentó establecer, sin éxito, comunicaciones inalámbricas con una unidad fondeada en la bahía de Valparaíso.² Finalmente el éxito se logró en 1904.

* Capitán de Navío. Ingeniero Naval Electricista, Magíster en Ingeniería Nuclear, Magíster en Ingeniería Mecánica, M.B.A., Doctor en Administración (Ph. D.). Preclaro Colaborador, desde 1992.

1. EE.UU. destina anualmente US\$ 40 mil millones en I y D para la defensa.
2. Tromben, Carlos: "La Contribución de la Armada al Desarrollo Nacional", Imprenta de la Armada, Valparaíso, segunda edición, 2000, 147 pp.



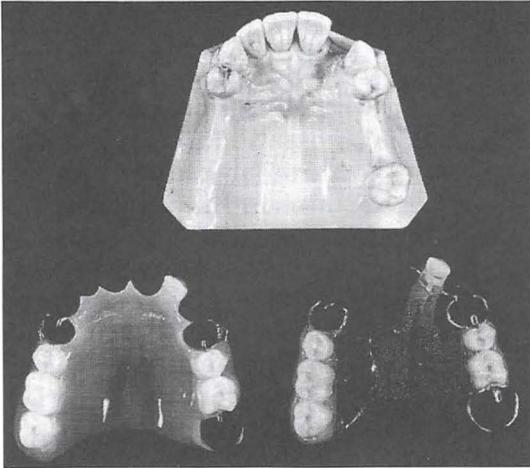
Si bien es posible decir que a lo largo del tiempo en la Armada de Chile se realizaron esfuerzos en cuanto al desarrollo de tecnología nacional para satisfacer requerimientos técnicos y operativos, no es sino hasta el año 1964 que este esfuerzo se institucionalizó con la creación del Centro de Investigación y Desarrollo de Armamento Naval, el cual fue reemplazado en 1966 por la Oficina de Investigación Naval (OIN). Esta Oficina se organizó como una repartición dependiente de la Dirección General de los Servicios (Logística) de la Armada, pero basada en oficiales que participaban en forma temporal en la misma, sin llegar a contar con un edificio ni infraestructura para su funcionamiento. Sus primeros directores fueron oficiales que habían tenido estudios en el extranjero, particularmente de ingeniería electrónica en Francia y Alemania antes de la Segunda Guerra Mundial. El ámbito de acción de la OIN se extendía desde el mejoramiento de armas de procedencia extranjera, hasta prótesis dentales de aleaciones exóticas no existentes en el país. En forma anecdótica cabe destacar las ofertas de diversos inventores individuales y de profesores universitarios quienes se ofrecieron a cooperar con sus ideas para llevar a cabo investigación financiada por la Armada.

Para el caso del mejoramiento de armas, el objetivo general de los desarrollos de esos años era el incrementar las prestaciones operacionales de las mismas, mediante la modificación o el reemplazo de sus componentes por similares más modernos,

lográndose así mayores prestaciones funcionales, o también superar la obsolescencia logística producto de los avances técnicos. En el caso de las prótesis dentales los objetivos eran reducir substancialmente los costos de fabricación de las mismas, generar un ahorro a la institución por este concepto, aumentar la capacidad de atención dental para la Armada y hacer extensivo este beneficio, en términos sociales, para toda la población, reduciendo de paso el desembolso de divisas en moneda extranjera (dólares de EE.UU.), aspecto de gran importancia en los años 60 en Chile.

Algunos de los problemas experimentados en esos primeros años eran la ausencia de una infraestructura adecuada para llevar a cabo tales desarrollos, la baja capacidad técnica de la industria nacional tanto en términos de precisión de los trabajos como de volumen, la dificultad para contratar profesionales calificados en temas de alta tecnología y complejidad, los altos costos de producción a reducida escala y en forma manual de las armas a modificar, como también la obsolescencia operativa y logística de tales armas, y la consabida falta de recursos humanos y materiales. Se hace patente tempranamente la necesidad de adquirir equipamiento de laboratorio en el extranjero, como también las partes, piezas y componentes necesarios para la modernización de las armas. En la documentación de esos años aparecen los intentos de convencer a los tomadores de decisiones, de la conveniencia y necesidad de invertir en ciencia y tecnología, como una variable importante para el avance económico y social del país, permitiendo asimismo reducir la dependencia económica y política de países industrializados.

En el caso de las prótesis dentales se trabajó en conjunto con universidades locales, alumnos memoristas de las mismas y con el Ejército de Chile. En el caso de la modernización de armas, se menciona como una capacidad digna de ser aprovechada, el hecho de



En el caso de las prótesis dentales con conciencia y tecnología modernas se trabajó en conjunto con universidades locales.

que ciertas universidades locales contarán con profesores universitarios de una alta capacitación en el extranjero a nivel de pos grado y gran experiencia. Asimismo, se intenta hacer uso de la capacidad de los astilleros locales para poner en práctica tales modificaciones. El uso de la experimentación por sobre los estudios teóricos es evidente, demostrando una reducida base técnica en comparación a la capacidad práctica y experimental. Nace tempranamente la necesidad de perfeccionamiento, con Oficiales siendo comisionados al extranjero a efectuar cursos de pos grado en universidades de Europa y EE.UU.

En muchos de los desarrollos iniciales se busca la participación de jóvenes oficiales alumnos de las escuelas de especialidades (Armamentos, Telecomunicaciones, Ingeniería Naval). Estos Oficiales participan ya sea desarrollando sus memorias profesionales orientadas a satisfacer total o parcialmente los objetivos de las investigaciones, o como investigadores de jornada parcial, a la vez que realizaban su trabajo diario en reparticiones de tierra. Muchos de los desarrollos de la época son detenidos por problemas principalmente económicos, mientras que otros por la falta de confianza del Alto Mando en las capacidades humanas y técnicas para alcanzar tales objetivos.

Hubo un período en que la OIN estuvo en receso y su funcionamiento, restringido a las labores de un Oficial en retiro que se encargaba personalmente de su funcionamiento administrativo. En 1975 las actividades se reinician con la entrada en funciones de la Oficina de Investigación Científica de la Armada (OICA), la cual ocupaba un departamento en un edificio en la ciudad de Viña del Mar. El jefe de esta Oficina era un Capitán de Navío que se desempeñaba a tiempo parcial en ese puesto, ya que en forma permanente correspondían ya sea al Subdirector de la Dirección de Armamentos o de la Dirección de Ingeniería. En 1978 se procedió a la contratación de los primeros ingenieros de dedicación exclusiva, tres en total y recién egresados de la universidad, de los cuales dos tenían estudios a nivel de Magíster. Con la contratación de profesionales por parte de la OICA se comienza el desarrollo de equipos un tanto más complejos, con estudios teóricos de una mayor profundidad, y empleando en ellos, electrónica analógica y digital de estado sólido.

A mediados de los años 70 salen a perfeccionarse en el extranjero varios Oficiales, en áreas de ingeniería electrónica, investigación de operaciones, informática, ingeniería acústica, ingeniería nuclear y construcción naval. El principal país elegido para este perfeccionamiento fue EE.UU., en particular los centros de pos grado de Monterrey Post Graduate School de la U.S. Navy, el M.I.T., Ann Harbour (Michigan), Rensselaer Polytechnic Institute y Georgetown University. Esta actividad permitió que los proyectos de desarrollo en los cuales se especializaron estos Oficiales se profundizaran e hicieran más relevantes en lo técnico y operativo.

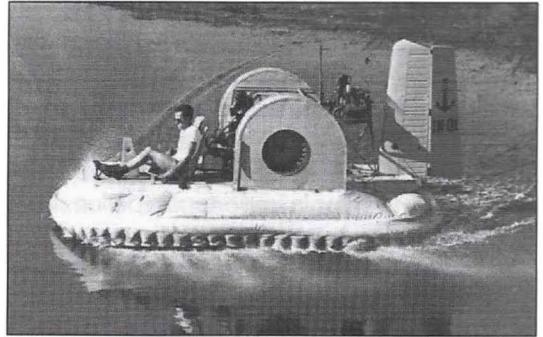
Como uno de los principales desarrollos tecnológicos de hace veinticinco años, cabe mencionar que en 1975 la Armada encargó a la Pontificia Universidad Católica de Chile el mejoramiento del radar mono pulso de control de fuego de los destructores DDG tipo Almirante de procedencia inglesa, y un sistema de control de fuego(2). El sistema de con-

trol de fuego MAULE-METUC se basaba en electrónica digital y fue desarrollado enteramente con tecnología nacional, y significó un enorme avance en la capacidad operativa de los destructores mencionados. Otro proyecto en el cual se vio involucrada la Universidad Católica fue el de un data-link básico que permitía la transferencia de datos entre los destructores mencionados. Bajo la denominación de CASUC, este proyecto tenía como contraparte a la Dirección de Armamentos. Por esa época, otro Oficial ingeniero electrónico pos graduado en el extranjero diseñó un sistema MAE prototipo, el cual muchos años después se transformó en un sistema MAE mejorado por una empresa nacional e instalado a bordo de unidades de la Fuerza Aérea de Chile.

Estos tres sistemas, en los cuales participó originalmente la Universidad Católica, crearon la base técnica y humana para gran parte de los desarrollos posteriores en procesamiento de señales de radar, data-link y sistemas de control de fuego, a los cuales nos referiremos en mayor detalle más adelante.

En los astilleros de ASMAR ingenieros navales electrónicos junto con un ingeniero electrónico inglés desarrollaron un radar de rebusca aérea. Este radar fue presentado en la Feria Internacional del Aire (FIDAE) en 1984 y, que se tenga conocimiento, no se vendieron unidades de este sistema. Cabe destacar que en estos desarrollos ya no son oficiales memoristas los que participan, sino que especialistas ya graduados, la mayoría de ellos con cursos de especialización en el extranjero.

A mediados de la década de los años 70 se crea en Santiago el Centro de Investigaciones de las Fuerzas Armadas (CITEFA), y la Armada, en conjunto con el Ejército de Chile, comienza la investigación en cohetería. Estos esfuerzos resultarían en la producción en Chile de los misiles anti-tanque filo guiados MAMBA, bajo licencia de su fabricante original, los cuales fueron finalmente empleados por el Ejército de Chile. En estos esfuerzos trabajó un Oficial



HOVERCRAFT, construido por Oficiales Ingenieros Navales chilenos con tecnología nacional.

alumno de la especialidad de Ingeniería Naval Mecánica. Otro proyecto digno de destacar en ese entonces fue el de un hovercraft para dos tripulantes diseñado y construido por tres oficiales ingenieros navales con tecnología enteramente nacional. Por tratarse de la memoria profesional de estos tres oficiales, este desarrollo no pasó de la unidad prototipo, pese a lo promisorio de sus logros.

Con las capacidades demostradas por ASMAR en el desarrollo del radar, en ese astillero se crea la división de Fabricaciones Militares, la cual funcionó hasta mediados de los años 90. En esa División se desarrollaron, principalmente, equipos electrónicos de mediano nivel de complejidad, los cuales se instalaron en diversas unidades de la Armada.

Con la adquisición de computadores centrales de gran capacidad de proceso, y la educación formal en programación de los mismos, las investigaciones de los alumnos memoristas de las escuelas de especialidades de la Armada, a fines de la década de los años 70, se centraron en métodos numéricos, simulaciones y análisis de operaciones, pasando a predominar por sobre los estudios teóricos y experimentales. Algunas de las memorias profesionales de tales años llegaron a materializarse en aplicaciones operacionales.

A fines de los años 70 y comienzos de los 80, los desarrollos de la OICA comenzaron a responder en mayor medida a requerimientos operacionales de ciertos mandos y

al desarrollo de equipos de apoyo a los sistemas principales de las unidades operativas, incluso con cooperación de ingenieros extranjeros. Un gran avance en este sentido lo permitió la aparición de los microprocesadores programables. Por su parte el aliciente político para acrecentar la importancia de los desarrollos locales lo constituyó la enmienda Kennedy de 1977, la cual impuso un embargo de armas, transferencia de tecnología y unidades operativas a las FF.AA. de Chile.

En 1985 la Armada de Chile crea en Santiago el Centro Naval de Estudios Avanzados (CENESA), que funcionando en forma paralela a la OICA, y que se dedicaba al desarrollo de proyectos de base tecnológica en conjunto con universidades (Universidad Católica, Universidad de Chile, Universidad de Santiago) e institutos locales de investigación (INTEC, Comisión Chilena de Energía Nuclear). Este Centro se abocó al desarrollo de prototipos de celdas secundarias de litio, celdas de combustible, preservación de alimentos por irradiación y otros similares, llegando a patentar uno de esos desarrollos. Su jefe era un Capitán de Corbeta con estudios de pos grado en el extranjero.

En enero de 1986 la OICA se convierte en la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Armada (DIRINDESA), pasando a contar con la primera infraestructura dotada de espacios de laboratorio, oficinas y biblioteca totalmente independientes. Esta Dirección contaba por primera vez con un Director de dedicación exclusiva del grado de Capitán de Navío. Dentro de su orgánica cabe destacar los departamentos de Análisis de Operaciones, Investigación y Desarrollo Tecnológico, y de Análisis de Sistemas. Considerando la inconveniencia de contar con dos entidades dedicadas a la investigación y desarrollo tecnológico, a mediados de 1988 se dispone la fusión de la DIRINDESA con el CENESA, pasando todos los integrantes y proyectos en ejecución de este último Centro a depender de la mencionada Dirección a contar de enero de 1989.

A fines de los años 80 se comienza la evaluación de varios proyectos para el mejoramiento de los sistemas de armas, los cuales planificó inicialmente la Dirección de Armamentos. Como una forma de mejor administrar este esfuerzo, en 1989 la Armada estableció el Proyecto Olimpo, destinado a la renovación de los sistemas de armas y medios operativos de la Escuadra. Este proyecto dio como resultado la transformación mediante ingeniería de ASMAR de dos destructores DLG tipo County en portahelicópteros (DLH), equipándolos con el sistema de captura de helos ASIST de la empresa canadiense Indal Technologies, helicópteros pesados Super Cougar de la empresa francesa Aeroespacial, los cuales a su vez pueden portar ya sea misiles aire-superficie EXOCET AM-39 de la misma empresa francesa o un sonar arriable y torpedos antisubmarinos MK46 de EE.UU. Para defensa puntual, los DLH y DLG fueron dotados de misiles antimisil



Destructores DLG tipo County, transformados en DLH, mediante ingeniería de ASMAR.

BARAK de la empresa israelí IAI. Uno de los avances más importantes en cuanto a su aporte local de tecnología lo constituyó el sistema de mando y control SP-100 IMAGEN, desarrollado por la empresa local SISDEF, el cual incorpora un data-link de desarrollo completamente autóctono. Para liderar este proyecto de gran envergadura, se designó a un Contraalmirante en calidad de jefe del mismo, el cual contaba con un equipo de cerca de quince oficiales de diversas especialidades, muchos de los cuales contaban con cursos de pos grado en el extranjero.

Los avances en radares y guerra electrónica de los años 70 tanto en ASMAR

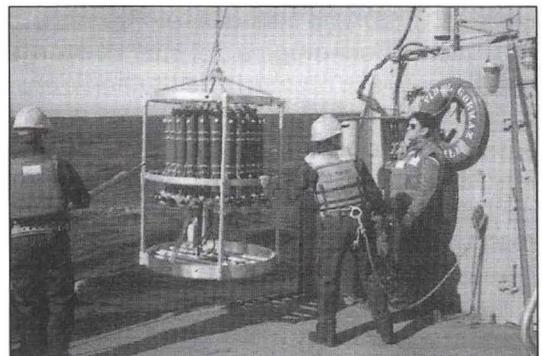
como en la Pontificia Universidad Católica de Chile han resultado en tres empresas chilenas dedicadas a la electrónica de defensa. Estas son DESA, dedicada a sistemas de control de fuego y procesamiento de señales de radar, LINKTRONIC dedicada a radares, y SIS-DEF al área de sistemas de mando y control, data-link y procesamiento de sonoboyas. Estas tres empresas junto con ASMAR representan una importante capacidad técnica y son uno de los principales soportes del área de electrónica de la Armada de Chile en estos días.

Con la ayuda de una empresa local, la Dirección de Armamentos incursionó en la modernización de drones a hélice para entrenamiento antiaéreo. Asimismo, contrató la modernización del sistema de control de fuego de las fragatas PFG tipo Leander a la empresa DESA.

Teniendo en cuenta los avances logrados con el Proyecto Olimpo, las capacidades técnicas que tenía la DIRINDESA y los beneficios de ámbito posibles de lograr al hacer funcionar en forma armónica ambos emprendimientos, en enero de 1993 se creó, por la fusión de ambas organizaciones, la actual Dirección de Programas, Investigación y Desarrollo de la Armada (DIPRIDA). La estructura organizacional base de DIPRIDA la constituyó la DIRINDESA, a la cual se le agregó un Departamento de Proyectos y un Departamento de Desarrollo y Mantenimiento de Software. La fusión de ambas organizaciones en términos humanos fue compleja, ya que en la DIRINDESA trabajaban ingenieros dedicados principalmente al desarrollo tecnológico y los oficiales que trabajaban en esa dirección eran en su totalidad del área técnica no operativa, a diferencia de que la mayor parte de los oficiales del Proyecto Olimpo eran del área operativa. DIPRIDA fue la organización que ejecutó una parte importante de los subproyectos del Olimpo, y la organización responsable de entregar finalmente al servicio todos los nuevos sistemas. Con esta fusión se logró que la dirección de la investigación y el desarrollo tecnológico

en la Armada recayera en un Contraalmirante.

Cabe mencionar, en términos generales, las actividades de investigación oceanográfica que realiza el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) como parte de sus labores normales. A lo largo de la historia de este servicio se debe destacar la investigación en las áreas de mareas, corrientes, cartografía, oceanografía satelital, olas y batimetría. Estas actividades en los últimos años han aumentado significativamente con los cruceros de investigación CIMAR que se realizan por parte del buque oceanográfico *Vidal Gormaz*. En estos cruceros participan activamente investigadores nacionales de universidades locales, ampliando los alcances de estas investigaciones a materias de índole física, biológica, química y de recursos pesqueros. Cabe también destacar el proyecto GEOTEC de cartografía digital desarrollado por este Servicio, mediante el cual se espera contar con la totalidad de las cartas náuticas del país en formato digital, empleando para ello un formato de standar internacional que es usado por los sistemas de navegación automáticos existentes.



La roseta oceanográfica y CTD tienen como propósito la obtención de muestras de agua para análisis de salinidad, oxígeno y temperatura del mar.

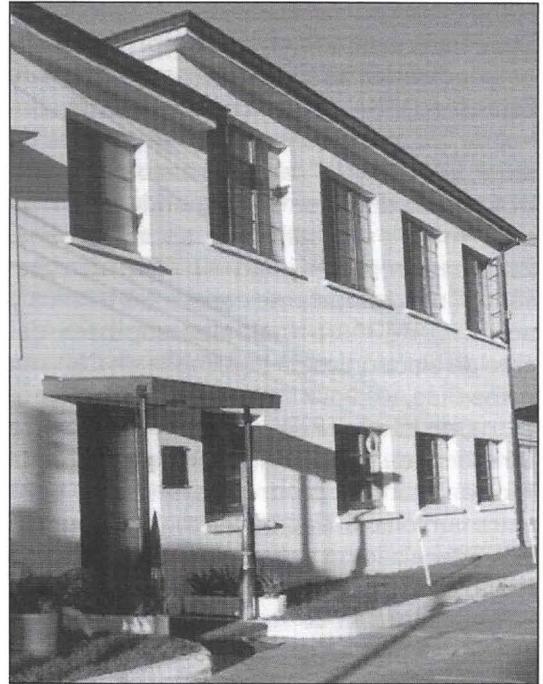
La Investigación y Desarrollo en la Actualidad.

Al momento de la creación de la DIPRIDA se pretendió centralizar todas las actividades de investigación y desarrollo en una sola Dirección. Pese a ello, y teniendo en consi-

deración la necesidad de mantener líneas propias de su incumbencia, la Dirección de Armamentos ha continuado con sus desarrollos. La gran mayoría de ellos se derivan de la necesidad de repotenciar o modernizar sistemas de armas existentes, en base a la capacidad técnica local. Así es como con la participación de empresas nacionales se han desarrollado modernos sistemas de control de fuego y de guerra electrónica. El Arsenal Naval de Talcahuano, además de cumplir con sus responsabilidades que le son propias, con los aportes de los ingenieros químicos graduados en la Academia Politécnica del Ejército, se ha dedicado al desarrollo de propelentes químicos para pirotécnicos menores.

Un cambio importante en el ámbito de la investigación lo constituye la formalización de un Departamento de Investigación en la Academia Politécnica Naval. Este Departamento coordina las actividades de investigación de los alumnos, objeto orientar las memorias de titulación hacia la satisfacción de objetivos de interés institucional, ya sea de Mandos Operativos o de Direcciones Técnicas. Con el fin de incentivar el desarrollo tecnológico por parte de los alumnos ingenieros, DIPRIDA ha instituido el "Premio a la Innovación Tecnológica", el cual se otorga anualmente a la memoria de titulación profesional que se destaque por su originalidad e innovación. De estas memorias se han logrado aportes relevantes para el quehacer de DIPRIDA y otras Direcciones técnicas. Para cooperar en estas memorias, DIPRIDA aporta el tiempo de algunos de sus oficiales y empleados civiles especialistas quienes actúan como profesores guía, permite el uso de sus laboratorios y equipos de investigación, y aporta financieramente en algunas ocasiones.

Al interior de DIPRIDA la integración de los proyectos y la investigación ha logrado un cierto grado de sinergia, ya que con las capacidades humanas y técnicas logradas gracias a la investigación, se ha logrado aportar capacidad de producción local para ciertos equipos y componentes de nivel tecno-



Dependencias de Diprida en el interior de la ex Escuela Naval en el C° Artillería.

lógico intermedio requeridos por los proyectos. Pese a ello, los grandes proyectos en base a la adquisición de medios avanzados del extranjero, en muchas oportunidades opacan los logros incrementales de las investigaciones llevadas a cabo con tecnología nacional.

Gracias a esfuerzos sostenidos a lo largo de varios años, al interior de DIPRIDA se ha logrado desarrollar capacidades en procesamiento digital de señales de sonar, que con la ayuda de investigadores universitarios y la empresa SISDEF han permitido el desarrollo de sistemas de un cierto grado de complejidad. Estos desarrollos, la mayor parte del tiempo, emplean partes y componentes importados de tipo industrial, que adaptadas e integradas en base a capacidad técnica local permiten contar con sistemas de un alto aporte de ingeniería nacional. Muchos de estos equipos en oportunidades son desarrollados a costos substancialmente menores que el precio de venta de equipos impor-

tados, constituyendo el principal aliciente para continuar en esta línea.

Teniendo en consideración que gran parte de los modernos sistemas de armas, de comunicaciones, electrónicos y en general de toda índole incorporan software para su funcionamiento, el Departamento de Desarrollo y Mantenimiento de Software ha elaborado un Manual para el Desarrollo de Software Operacional. Los profesionales de este Departamento son especialistas de pos grado en estas disciplinas y gracias al empleo de metodología moderna de programación y formalización de sus desarrollos, han logrado obtener resultados relevantes en apoyo a otras tareas de DIPRIDA y del resto de la Institución. Asimismo, prestan asesoría a otras organizaciones al momento de desarrollar o adquirir sistemas que tienen una base computacional importante.

Continuando con los trabajos que se realizaban en la DIRINDESA en materias de Investigación de Operaciones, profesores universitarios locales, Oficiales con cursos de pos grado en esta disciplina e ingenieros y físicos que forman parte del departamento correspondiente de DIPRIDA trabajan en el desarrollo de simuladores de diverso grado de complejidad, modelamiento de sistemas y estudios estadísticos. Estos trabajos se ejecutan con el fin de apoyar los proyectos futuros de la Armada, las tácticas de las fuerzas navales propias, y el mejor empleo de las armas y sensores de las unidades.

Las empresas civiles contratadas para desarrollar equipos y sistemas para la Armada han logrado aceptar que las exigencias de especificaciones rigurosas (como las MIL STANDARDS) les sean incorporadas en sus productos. Debido a ello, se ha tenido que aceptar, por parte de la Armada, mayores precios, en oportunidades desarrollos más complejos y pruebas más prolongadas y exigentes. Como consecuencia de lo anterior, las mejoras en la calidad y prestaciones operacionales de los productos y sistemas nacionales han sido evidentes, demostrando que tales requerimientos son

totalmente justificados y su mayor costo, recuperado con creces al lograrse mayor disponibilidad y confiabilidad de tales equipos.

Debido a la necesidad de especialización en las funciones institucionales, DIPRIDA ha continuado con algunos de los desarrollos originalmente llevados a cabo por la Dirección



Con el empleo de microprocesadores se ha mejorado la tecnología de los Jet drones de segunda mano.

de Armamentos. En particular cabe destacar la modernización de jet drones de segunda mano para entrenamiento antiaéreo, adaptando y mejorando la tecnología original de los drones a hélice de la década anterior. Esto ha sido posible gracias al empleo de microprocesadores dedicados al control digital de los sensores y actuadores de estos drones, tecnología que ha sido empleada exitosamente en otros desarrollos.

En el área de las telecomunicaciones DIPRIDA, junto con el Servicio de Telecomunicaciones e Informática (SERTELINF), ha logrado incorporar al servicio de la Armada equipamiento moderno, incluso desarrollando con la ayuda de una empresa local, un protocolo digital multifrecuencia y con corrección de errores. Este protocolo ha permitido reducir la tasa de falla, en transmisión de errores y la velocidad a la cual los mensajes se transmiten. Por su novedad, una empresa extranjera manifestó que sería de alto interés contar con tal protocolo para su comercialización. Asimismo, mediante tecnología nacional se han diseñado, fabricado, probado (según estándares militares) y empleado satisfactoriamente receptores y

transmisores para aeronaves, que incorporan microprocesadores programables como parte de sus componentes internos y pueden ser comandados externamente por un computador. Esto ha permitido ahorrar una cantidad significativa de dinero y facilitado su integración con otros equipos, gracias a que se cuenta con el detalle preciso de su diseño, fabricación y operación.

Si bien el Arsenal Naval de Talcahuano cuenta con capacidad de desarrollo y producción de propelentes y motores cohete para pirotécnicos menores, debido a la capacidad lograda por la Fábricas y Maestranzas del Ejército (FAMAE), esta empresa ha sido contratada para el desarrollo de estos subsistemas. Además, FAMAE cuenta con la planta de pruebas ambientales más importante del país, en la cual se someten a evaluación los equipos desarrollados localmente. Estas relaciones se llevan en un plano absolutamente comercial no subsidiado, lo que ha permitido que los desarrollos tengan una base de eficiencia comercial y financiamiento adecuado a los logros esperados.

Un problema que se debió enfrentar a mediados de los años 90 fue el cierre de dos centros de investigación, uno de ellos estatal y el otro basado en una universidad. Estos centros venían hace algún tiempo funcionando en forma no rentable debido a una disminución del número de proyectos contratados a las mismas. La causa real era la aparición de empresas privadas de ingeniería, principalmente electrónica, que teniendo una muy buena base técnica se ganaban una mayor parte de los proyectos. El cierre de estos dos centros obligó a la búsqueda de empresas que pudieran reemplazar las capacidades perdidas, requiriéndose un esfuerzo importante de transferencia de tecnología y reestudio de los subsistemas ya desarrollados. Todo este proceso demoró la continuación de algunos proyectos, y en un caso, la necesidad de recurrir a cláusulas de garantía técnica y responsabilidad contractual para asegurar el cumplimiento del proyecto.

Con el correr del tiempo en la Armada de Chile se ha llegado a una condición en la cual uno de los impedimentos importantes para el desarrollo de tecnología de defensa autóctona, cual es el de la capacidad técnica y humana para ello, ha sido superado en forma significativa. Esto se ha logrado gracias al trabajo conjunto de DIPRIDA con empresas locales dotadas de profesionales de alta capacidad técnica, la contratación de profesores universitarios altamente calificados y motivados hacia la investigación, y el contar con Oficiales y profesionales propios con estudios de pos grado en disciplinas técnicas relevantes a las modernas tecnologías. Asimismo, con el correr del tiempo los desarrollos se han abocado a la solución de problemas y mejoramiento de capacidades de los mandos y unidades operativas, quienes han pasado a constituirse en "clientes internos" a los cuales se les debe proveer de productos y servicios de alta calidad, bajos precios y que satisfagan en gran medida sus necesidades.



El desarrollo de Tecnología de defensa autóctona se ha logrado el contar con profesionales calificados y oficiales de alta capacidad Táctica.

Experiencias de Veinticinco Años.

De lo expresado precedentemente es dable derivar las siguientes experiencias:

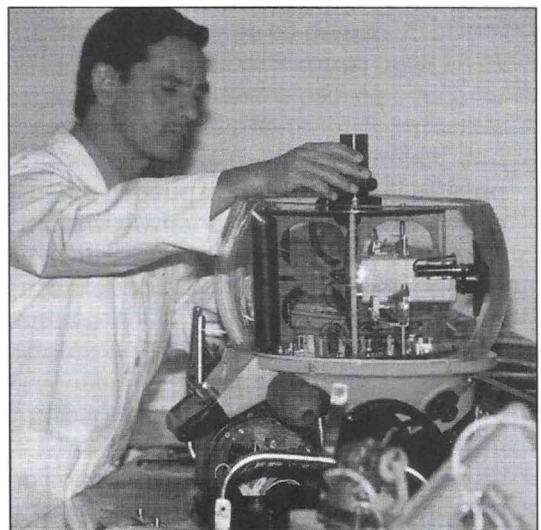
- El desarrollo de tecnología local es altamente dependiente de la capacidad de los investigadores de las universidades. Estas capacidades se deben emplear en base a convenios de desarrollo conjuntos y contratos de servicios que satisfagan a ambas partes. Esta experiencia no es

nueva y es la misma receta que se ha empleado en países industrializados para los mismos fines.

- Se requiere de Oficiales y profesionales con cursos de pos grado para realmente lograr avances importantes. La tecnología de defensa es de una alta complejidad, motivo por el cual los conocimientos adquiridos durante los estudios de pre grado no son siempre suficientes. Es por lo tanto necesario capacitar adecuadamente a la gente propia y contratar personal civil pos graduado, esto último dificultado por la necesidad de pagarles sueldos comparables a los del mercado, con los cuales las FF.AA. compiten en forma desventajosa.
- La especialización de las organizaciones de investigación y desarrollo en ciertas áreas particulares permite reducir el riesgo técnico de los desarrollos y aumentar significativamente la probabilidad de éxito de los proyectos. Las empresas generalistas tienen reducida capacidad para desarrollos de alto nivel de exigencia y que incorporen tecnologías modernas.
- Es necesario contar con grupos de trabajo que dominen una cierta área. Esto se debe a que no es suficiente que una sola persona sepa de un tema en particular, es necesario que varias personas conozcan de un tema para poder discutirlo, perfeccionarlo y avanzar en su desarrollo e incorporación en equipos y sistemas. Si se desea abarcar más áreas del saber, es necesario que se creen más puestos de trabajo en esa materia, una persona no es suficiente. Asimismo, es conveniente que un mismo problema sea analizado por grupos multidisciplinarios, objeto aumentar la base de soluciones factibles y por ende un resultado más efectivo. Otra ventaja de los grupos de trabajo es que permiten mejorar la continuidad de los desarrollos y del conocimiento a lo largo del tiempo.
- Los desarrollos se deben orientar a satisfacer las necesidades, requerimientos y solucionar los problemas de los

mandos y unidades operativas ("clientes internos"). Las organizaciones de I y D existen para ellos como fin, las capacidades tecnológicas son sólo un medio para lograrlo. Se debe trabajar estrechamente desde un comienzo y a lo largo de todo el proceso con los usuarios finales para lograr que los desarrollos satisfagan sus requerimientos y se adapten a sus necesidades.

- Existiendo recursos limitados tanto humanos como financieros para llevar a cabo la investigación y el desarrollo, es necesario que los proyectos sean priorizados por parte de un comité de alto nivel dentro de la Institución. Dentro de esta priorización se debe balancear las necesidades de corto plazo de las fuerzas operativas, con las necesidades tecnológicas de mediano y largo plazos para el desarrollo de capacidades humanas y técnicas no disponibles en el presente.
- La rigurosidad en las especificaciones, en el proceso de desarrollo, en las pruebas y en los diseños es lo único que permite lograr resultados aceptables. Se debe exigir a las empresas contratadas y a los investigadores propios la incorporación de normas militares o a lo menos industria-



Las pruebas de aceptación en Diprida deben obedecer a rigurosos protocolos.

les para lograr productos de alta calidad. Los mayores costos de desarrollo y adquisición son mucho menores que los costos derivados de sistemas que fallan constantemente y no cumplen con su objetivo. Las pruebas de aceptación deben obedecer a rigurosos protocolos predefinidos que aseguren que las capacidades y requerimientos a ser cumplidos por los productos sean efectivamente logrados.

- El uso de elementos comerciales (COTS) es un arma de doble filo que se debe tratar con cuidado. Los productos comerciales (partes, componentes, circuitos integrados) tienen vida muy corta en el mercado y rápidamente son reemplazados por otros un tanto distintos. Esta diferencia que en principio es poco significativa, requiere el rediseño de circuitos y subsistemas, la repetición de pruebas, la solución de fallas de rediseño y un aumento importante del esfuerzo logístico y financiero. Se debe determinar lo difícil y caro que resulta la obtención de un componente especial después de tan sólo dos años. Esto obliga a considerar formas contractuales, administrativas y logísticas para aquellos repuestos, partes, componentes y elementos críticos de carácter comercial.
- La investigación y el desarrollo tecnológico de equipo de defensa es un esfuerzo de largo plazo. Requiere por lo tanto de un apoyo político sostenido a pesar de las dificultades contingentes. Se debe tener una visión de largo plazo ante las propuestas innovadoras que pueden parecer quimeras difíciles de alcanzar. Además de esto se requiere de paciencia política, ya que es posible que los resultados exitosos no se logren durante la presente administración y que en un principio sólo se vean fracasos.
- Para que el esfuerzo de investigación y desarrollo sea eficiente económicamente, se debe trabajar con costos y precios de mercado. Las empresas dedicadas a la ingeniería de defensa deben competir por los contratos con el fin de lograr

bajos precios y alta calidad. Mientras más se pueda aumentar la participación competitiva de empresas en proyectos de desarrollo, se obtendrán productos y equipos más baratos y mejores.

- No parar de innovar. Las primeras generaciones de todo desarrollo son toscos productos que tienen muchos inconvenientes y deficiencias. Solamente en base a innovaciones correctivas sucesivas será posible alcanzar productos de alta calidad y buenas prestaciones. Para ello se requiere de apoyo político de largo plazo y financiamiento sostenido. Si el proceso innovador se detiene es muy difícil retomarlo.
- No todos los esfuerzos de investigación y desarrollo son exitosos. Es dable esperar fracasos, de los cuales se debe aprender en base a un análisis crítico y realista de las fallas y sus reales causas.
- El costo y el tiempo de desarrollo de sistemas más complejos aumenta en forma exponencial con la complejidad de los mismos. Este fenómeno ha sido comprobado en muchas investigaciones empíricas respecto al tema y asimismo al interior de DIPRIDA. Esto quiere decir que en la medida que se intenta desarrollar sistemas cada vez más complejos se debe invertir cada vez más, trabajar cada vez más y tener cada vez más paciencia para obtener resultados exitosos.
- Es prácticamente imposible lograr igualar las capacidades y prestaciones de sistemas importados modernos con el primer desarrollo nacional. Muchos equipos y subsistemas se orientan a substituir importaciones ya sea por motivos económicos (menores precios potenciales) y/o políticos (dificultades de adquisición o interés de mayor independencia logística). Esta dificultad para igualar las capacidades de sistemas importados se debe en primer lugar a la falta de experiencia, menores capacidades industriales, falta de especialización y de recursos humanos calificados, por lo que es dable esperar que los productos locales en su primer lote de pro-

ducción no sean de iguales prestaciones y capacidades de los productos importados. En segundo lugar cabe reconocer que los productos importados tienen capacidades a las cuales se ha llegado después de muchas generaciones sucesivas. Por estos motivos los desarrollos propios en primera instancia no podrán igualar a los importados de última generación. Sólo el esfuerzo sostenido y mejoras sucesivas lograrán acercar los productos propios a los productos importados, y normalmente teniendo una diferencia persistente favorable a los importados. Esto trae como consecuencia una permanente pugna entre los investigadores que desarrollan productos locales y que consideran que sus equipos y subsistemas son razonablemente aceptables, y los Oficiales operativos, que desean siempre contar a la brevedad con las mejores capacidades y prestaciones de sus medios para el cumplimiento de su misión.

- Los alumnos memoristas sólo pueden aportar un avance lento en el desarrollo tecnológico institucional. Esto se debe al tiempo reducido que tienen para su investigación, la base técnica recién obtenida de carácter altamente teórico y la inexperiencia profesional. Pese a lo anterior, si su trabajo es debidamente acotado en los resultados esperados y son adecuadamente asesorados por profesionales de alta capacidad técnica y experiencia, sus investigaciones pueden cooperar efectivamente al avance tecnológico.
- En aquellos proyectos contratados a empresas externas, en el contrato respectivo se debe incluir cláusulas que aseguren la terminación de las actividades de investigación y de servicios pos entrega. El contrato se debe redactar entre el personal de investigación y desarrollo, que centra la atención en los aspectos técnicos del contrato, y personal asesor en materias jurídicas (abogados) con experiencia, que incorporen las cláusulas de responsabilidad y garantías.

- Debido a la escasez de empresas calificadas para realizar investigación y desarrollo de un nivel adecuado, con las pocas que se disponga se debe mantener una relación estrecha y mutuamente beneficiosa. Si la relación se deteriora, debido a la necesidad de recurrir a las mismas empresas a futuro, el trabajo se hará más difícil en términos de relaciones personales y acuerdos contractuales, llegándose a una relación de "suma cero".
- Para las empresas contratadas, la única forma de sobrevivir en la industria son las ganancias generadas por los proyectos. Esto requiere que se acepte por parte de las FF.AA. la obtención de ganancias económicas razonables, que por un lado permitan su subsistencia a futuro, y que por otro las incentive para que a futuro postulen a los proyectos de investigación y desarrollo que se requieran. Si los proyectos no son rentables y en la gran mayoría las empresas contratadas pierden dinero, a futuro no existirán capacidades para desarrollar proyectos con tecnología nacional.
- La capacidad comprobada de desarrollar equipamiento de defensa de mediana complejidad con tecnología nacional genera una enorme capacidad de negociación frente a las empresas extranjeras, lo que se traduce finalmente en precios más bajos. Esta capacidad "disuasiva" de la investigación y desarrollo propios ha sido escasamente reconocida tanto en la literatura como en la experiencia práctica.

Conclusiones.

La investigación y desarrollo de productos y equipos para la defensa no es una tarea fácil. Su gestión debe recaer en organizaciones especializadas, dotadas de profesionales calificados y contratada a empresas que posean creatividad e ingenio. Para la Armada de Chile, los últimos veinticinco años han sido muy ilustrativos en cuanto a la forma de llevar a cabo estos proyectos. Por un lado han permitido una capacidad para reemplazar equipamiento importado de

bajo y mediano nivel de complejidad a precios en oportunidades substancialmente menores que los importados, pero por otro lado ha generado la necesidad de un cambio de mentalidad institucional y la aparición de problemas que antes no se tenía.

Una de las principales variables de éxito es la calificación del personal que realiza labores de investigación y desarrollo. Por este motivo es necesario invertir en su perfeccionamiento de pos grado y dotarlo del equipamiento de investigación adecuado a sus necesidades. No es posible lograr buenos resultados con personal poco calificado y equipamiento obsoleto. Consciente de esto, al interior de la Armada de Chile se ha privilegiado el perfeccionamiento de pos grado de sus Oficiales en universidades nacionales y extranjeras, como también la contratación de Empleados Civiles profesionales preferentemente con cursos de pos grado, logrando con ello una masa crítica capaz de enfrentar importantes desafíos técnicos y la búsqueda creativa de soluciones para los problemas de los mandos y unidades operativas.

Del estudio de la documentación histórica de hace treinta años se aprecia la urgente necesidad de apoyo político al más

alto nivel institucional y nacional, además de una visión de muy largo plazo. Esto se debe a que mucha de la capacidad actual en investigación y desarrollo se deriva de decisiones tomadas hace tres décadas. Al evaluar las propuestas de investigaciones actuales, hay que pensar en cuáles podrían ser en treinta años más las implicancias positivas para el país y las FF.AA. de efectivamente apoyarlas y financiarlas. Como muchos de los que hoy estamos en servicio, en tal marco temporal no estaremos tal vez en este mundo, solamente nos queda tener confianza en que lo que se invierte hoy en proyectos de investigación y desarrollo efectivamente ayudará a la seguridad nacional a futuro.

Agradecimientos.

El autor agradece particularmente la dedicación y el apoyo otorgados a la investigación y al desarrollo tecnológico por parte de aquellos tres primeros ingenieros contratados por la OICA hace más de veinte años. Su experiencia y capacidad técnicas ha permitido en gran medida los logros de la presente década. Asimismo, reconocer la labor de todos los Oficiales, ingenieros y profesores universitarios que han permitido los avances tecnológicos de las últimas décadas.

* * *

