

CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL



**MONOGRAFÍAS  
del  
CESEDEN**

**56**

XII JORNADAS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID-CESEDEN

**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO  
E INNOVACIÓN (I+D+I)  
EN LA SEGURIDAD Y LA DEFENSA**

**ABSTRACT  
IN ENGLISH**

**MINISTERIO DE DEFENSA**



CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL



**MONOGRAFÍAS  
del  
CESEDEN**

**56**

XII JORNADAS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID-CESEDEN

**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO  
E INNOVACIÓN (I+D+I)  
EN LA SEGURIDAD Y LA DEFENSA**

Junio, 2002

## FICHA CATALOGRÁFICA DEL CENTRO DE PUBLICACIONES

### **Jornadas Universidad Complutense de Madrid-CESEDEN (12ª. 2001. Segovia)**

Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en la seguridad y la defensa / XII Jornadas Universidad Complutense de Madrid-CESEDEN.— [Madrid] : Ministerio de Defensa, Secretaría General Técnica, 2002.— 218 p. ; 24 cm.— (Monografías del CESEDEN ; 56).— Precede al tít.: Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional

NIPO: 076-02-112-X.—D.L. M. 26198-2002

ISBN: 84-7823-923-5

I. Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (España). II. España. Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica, ed. III. Título IV. Serie

Investigación y desarrollo militares / Investigación / Ciencia / Innovación / Política tecnológica / Desarrollo científico / Decisión / Universidades / España

Edita:



NIPO: 076-02-112-X

ISBN: 84-7823-923-5

Depósito Legal: M-26198-2002

Imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

Tirada: 1.000 ejemplares

Fecha de edición: junio 2002

**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACION (I+D+I)  
EN LA SEGURIDAD Y LA DEFENSA**

## SUMARIO

	<i>Páginas</i>
PRESENTACIÓN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	13
INAUGURACIÓN.....	21
<i>Por Pedro Chacón Fuertes</i>	
<i>Primera sesión</i>	
INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LAS FUERZAS ARMADAS.....	25
<i>Por Eduardo Zamarripa Martínez</i>	
<i>Segunda sesión</i>	
EL DIÁLOGO CIENCIA-GOBIERNO EN LA TOMA DE DECISIONES POLÍTICAS.....	43
<i>Por Agustín Zapata González</i>	
<i>Tercera sesión</i>	
INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LOS PROGRAMAS MILITARES ESPACIALES EN ESPAÑA.....	55
<i>Por Moisés Fernández Álvaro</i>	
<i>Cuarta sesión</i>	
LA INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA: REALIDAD, PROBLEMAS Y ESPERANZAS.....	69
<i>Por Antonio Fernández-Rañada y Menéndez de Luarca</i>	

	<u>Páginas</u>
<i>Quinta sesión</i>	
NUEVOS TEMAS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN UNA PERSPECTIVA COMPARADA: DIVERSIDAD Y EFICIENCIA DE LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS.....	83
<i>Por José Molero Zayas</i>	
<i>Sexta sesión</i>	
EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN LA HIDRODINÁMICA NAVAL	113
<i>Por Jaime Fernández Pampillón</i>	
<i>Séptima sesión</i>	
REFLEXIONES SOBRE LA RELACIÓN DEFENSA-UNIVERSIDAD.....	149
<i>Por Antonio López García</i>	
<i>Octava sesión</i>	
INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LA INGENIERÍA DE SISTEMAS. (LOS PROGRAMAS DE INVESTIGA- CIÓN Y DESARROLLO (I+D) EN EL EJÉRCITO DE TIERRA).....	157
<i>Por Ricardo Torrón Durán</i>	
RESUMEN.....	183
CLAUSURA.....	201
<i>Por Domingo Marcos Miralles y Rafael Puyol Antolín</i>	
ABSTRACT.....	207
ÍNDICE.....	211

# PRESENTACIÓN

## PRESENTACIÓN

*Durante los días 13, 14 y 15 de diciembre del año 2001 se celebraron las XII Jornadas Universidad Complutense de Madrid (UCM)-Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN), en el marco del convenio existente entre ambas instituciones.*

*Las sesiones de trabajo se llevaron a cabo en el parador nacional de Segovia.*

*Bajo el nombre «Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en la seguridad y la defensa», se desarrollaron los temas que se publican en esta Monografía.*



# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

### Programa

#### *Finalidad*

Continuar la colaboración acordada en el convenio Universidad Complutense de Madrid (UCM)-Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN), desarrollando las *XII Jornadas de Estudio* sobre el tema: «Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en la seguridad y la defensa».

#### *Dirección y organización*

#### DIRECCIÓN

Por la UCM:

- Excelentísimo señor don Rafael Puyol Antolín  
*Rector magnífico.*
- Ilustrísimo señor don Rafael Navarro Valls  
*Secretario general.*

Por el CESEDEN:

- Excelentísimo señor don Domingo Marcos Miralles  
*Teniente general. Director.*
- Ilustrísimo señor don Javier Álvarez Veloso  
*Coronel del Ejército de Tierra. Secretario general técnico.*

## ORGANIZACIÓN

Por la UCM:

- Excelentísimo señor don Pedro Chacón Fuertes  
*Vicerrector de Estudios.*
- Excelentísima señora doña Mercedes Doval Montoya  
*Vicerrectora de Ordenación Académica.*
- Excelentísimo señor don Juan Luis Paniagua Soto  
*Vicerrector de Relaciones Institucionales.*

Por el CESEDEN:

- Excelentísimo señor don Edilberto Calabria del Mazo  
*General de brigada. Jefe de la Escuela de Altos Estudios de la Defensa (EAEDE).*
- Ilustrísimo señor don José M.<sup>a</sup> Santé Rodríguez  
*Capitán de navío. Profesor.*
- Ilustrísimo señor don Eduardo Navadijos Ortiz  
*Coronel del Ejército de Tierra. Profesor.*

## RELATORES

Por la UCM:

- Ilustrísimo señor don Pablo Gil Loyzaga  
*Delegado del rector para Medio Ambiente. Catedrático de Medicina de la UCM.*

Por el CESEDEN:

- Ilustrísimo señor don Javier Martín García  
*Coronel del Ejército de Tierra. Profesor.*

## ADMINISTRACIÓN

Por la UCM:

- Doña Natividad Muñoz González  
*Jefe de la Unidad de Estudios. Vicerrectorado de Estudios.  
Administradora económica de las Jornadas.*
- Doña Elena Ramírez Fuentes  
*Secretaria de las Jornadas.*
- Doña Cristina Ríos Maure  
*Secretaria de las Jornadas.*

Por el CESEDEN:

- Ilustrísimo señor don Eduardo Vélez del Rivero  
*Coronel de Intendencia de la Armada.  
Administrador económico de las Jornadas.*
- Señor don Antonio Reyes Caro  
*Brigada del Ejército de Tierra. Auxiliar económico.*
- Señor don Gregorio Luis Rodríguez Fuentes  
*Cabo primero del Ejército de Tierra. Secretario de las Jornadas.*

### *Desarrollo de las sesiones*

- Las sesiones de trabajo tendrán lugar en el parador nacional de Segovia.
- Cada sesión tendrá una duración de 45 minutos (30 de exposición y 15 de debate).
- Los moderadores de las sesiones serán el excelentísimo señor don Pedro Chacón Fuertes y el excelentísimo señor don Edilberto Calabria del Mazo.
- Los relatores tomarán notas de las exposiciones y debate, preparando un resumen para su lectura en la sesión final.
- Recogerán las ponencias para su posterior publicación.

### *Desarrollo del programa*

JUEVES, 13 DE DICIEMBRE

09:30 h. Salida en autobús del CESEDEN.

10:00 h. Salida del Rectorado.

11:30 h. Llegada al parador y recogida de documentación.

12:30 h. Acto de inauguración de las *XII Jornadas*.

13:00 h. *Primera sesión*

Tema: «Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en las Fuerzas Armadas»

Ponente: excelentísimo señor don Eduardo Zamarripa Martínez  
*General de brigada del Ejército del Aire.*

17:00 h. *Segunda sesión*

Tema: «El diálogo ciencia-gobierno en la toma de decisiones políticas»

Ponente: excelentísimo señor don Agustín Zapata González  
*Vicerrector de Investigación de la UCM.*

18:00 h. *Tercera sesión*

Tema: «Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en los programas militares espaciales en España»

Ponente: señor don Moisés Fernández Álvaro  
*Teniente coronel ingeniero del Ejército del Aire.*

VIERNES, 14 DE DICIEMBRE

10:00 h. *Cuarta sesión*

Tema: «La investigación en España: realidad, problemas y esperanzas»

Ponente: ilustrísimo señor don Antonio Fernández-Rañada y Menéndez de Luarca.  
*Catedrático de Física de la UCM.*

11:00 a

13:30 h. Visita cultural

18:00 h. *Quinta sesión*

Tema: «Nuevos temas de la innovación tecnológica en una perspectiva comparada: diversidad y eficacia de las empresas españolas»

Ponente: excelentísimo señor don José Molero Zayas  
*Vicerrector de Tercer Ciclo y Formación Continua de la UCM.*

19:00 h. *Sexta sesión*

Tema: «Evolución de la investigación en la hidrodinámica naval»

Ponente: excelentísimo señor don Jaime Fernández Pampillón  
*Contralmirante ingeniero.*

SÁBADO, 15 DE DICIEMBRE

10:00 h. *Séptima sesión*

Tema: «Reflexiones sobre la relación Defensa-Universidad»

Ponente: excelentísimo señor don Antonio López García

*Presidente del Consejo Social de la UCM.*

11:00 h. *Octava sesión*

Tema: «Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en la Ingeniería de Sistemas. (Los programas de Investigación y Desarrollo (I+D) en el Ejército de Tierra)»

Ponente: excelentísimo señor don Ricardo Torrón Durán

*General de división. Ingeniero de Armamento y Construcción.*

12:00 a

13:30 h. Acto de clausura de las *XII Jornadas*.

---

NOTA: En la clausura los relatores leerán una síntesis del desarrollo de las *XII Jornadas*. Los ponentes entregarán la conferencia escrita para su publicación inmediata a los relatores. Los participantes en las *XII Jornadas* se alojarán en el parador nacional de Segovia. Se prevé el regreso a Madrid a las 13:30 horas (salida de Segovia).

# INAUGURACIÓN

## INAUGURACIÓN

Por PEDRO CHACÓN FUERTES

*XII Jornadas Universidad Complutense de Madrid (UCM)-Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN) (Segovia, diciembre 2001).*

La duodécima edición de las *Jornadas UCM-CESEDEN* tiene una gran importancia porque permite renovar los múltiples lazos que unen a ambas instituciones y que se perpetúan año tras año con nuevas y variadas actividades. Entre ellas cabe destacar: el Máster en Seguridad y Defensa, la Cátedra «Almirante Don Juan de Borbón» y la colaboración de los profesores de la UCM en las actividades formativas del CESEDEN. La Cátedra «Almirante Don Juan de Borbón» cuenta, este curso 2001-2002, con once asignaturas que cubren de forma amplia la mayoría de las áreas docentes de la UCM, se imparten como asignaturas de libre elección para los alumnos de licenciaturas y diplomaturas que las incorporan a sus currícula formativos.

Durante los últimos años estas *Jornadas* han permitido pasar revista a diversos temas como: «La seguridad en el Mediterráneo», «La problemática de los países del Este y su incorporación a la Unión Europea y a la OTAN», «Las relaciones con Iberoamérica», «El papel de las Fuerzas Armadas en la sociedad actual», etc. Este año se ha elegido un tema de gran actualidad e interés para ambas instituciones como es «Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en la seguridad y la defensa».

El actual sistema de organización de las *Jornadas* permite que un grupo de expertos de ambas instituciones trabajen monográficamente el tema



objeto de estudio. Este sistema, con una sabia conciliación entre eficacia en el trabajo y agradable convivencia, posibilita un amplio intercambio entre todos los participantes, al tiempo que se mantienen y desarrollan las relaciones del CESEDEN y la UCM. La posibilidad de la publicación de las conclusiones en la *Monografía* del CESEDEN es de un gran interés ya que permite la difusión de las conclusiones alcanzadas a todos aquellos que puedan estar interesados.

En fin, deseo agradecer a todos los participantes su asistencia, y muy especialmente a los miembros encargados de la organización y al personal de apoyo administrativo de ambas instituciones, la magnífica preparación de estas *Jornadas*, y expresar mi convencimiento en que el trabajo colectivo permitirá alcanzar los objetivos propuestos.

## **PRIMERA SESIÓN**

# **INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LAS FUERZAS ARMADAS**

## INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LAS FUERZAS ARMADAS

Por EDUARDO ZAMARRIPA MARTÍNEZ

### Introducción

La guerra es una necesidad, es absurda, va contra la inteligencia y la razón... pero existe. Y aunque parezca una simplicidad, hay buenos y malos, hay quienes originan la guerra y quienes la sufren, quienes atacan y quienes se defienden.

Prevenir una agresión mediante la disuasión y, si ésta se materializa, resolver el conflicto son en esta época la razón de ser de las Fuerzas Armadas. Es cierto que en otros tiempos los Ejércitos han tenido otro papel, que han sido un elemento fundamental en la formación de los Estados, el principal agente de conquista de territorios y que han constituido el elemento primordial de hegemonía propio de otras épocas... Pero esas épocas ya han pasado y las Fuerzas Armadas de los países que formamos parte de lo que llamamos civilización occidental no son un elemento de dominación sino la principal herramienta para garantizar la paz, la seguridad y la estabilidad, y no sólo en nuestros propios países y en su entorno geográfico sino, cada vez más y dentro de una globalización que alcanza también a los aspectos de defensa, a nivel mundial.

Si un conflicto se materializa o se produce una agresión que afecte a nuestros intereses vitales o a la paz y la estabilidad, es imprescindible la acción de las Fuerzas Armadas. Su objetivo ha de ser restablecer la situación y acabar con el conflicto de la manera más rápida posible, con la

mínima pérdida de vidas humanas y en particular, y si se quiere más egoístamente, evitando muy especialmente las bajas propias.

Y aquí entra la tecnología. La tecnología nos permite ir más alto, más rápido, más lejos, y con más potencia, pero, además, nos permite disponer de los elementos de mando y control adecuados, adquirir la información necesaria para operar eficazmente, no causar daños innecesarios... en fin nos permite ser el elemento primordial para resolver un conflicto de la manera más eficaz y más humana posible.

Por otra parte, y paso muy rápido sobre este aspecto porque es secundario en comparación con la pérdida de vidas humanas inherente a todo conflicto, la tecnología militar ha sido siempre a la larga una tecnología dual. Los descubrimientos militares se han incorporado rápidamente a la vida civil y han contribuido al progreso de la sociedad en todos sus ámbitos: medicina, comunicaciones, transportes, etc.

En conjunto la investigación, el desarrollo y la innovación tienen una importancia vital tanto en el ámbito civil como en el de la defensa. En este último permite a los ejércitos cumplir su cometido con un número de efectivos cada vez menor y favorece el desarrollo de las industrias del sector con importantes repercusiones derivadas de carácter económico y tecnológico para la sociedad.

## **El panorama internacional de la defensa**

La seguridad y la defensa en nuestro continente van ligadas a dos instituciones de importancia política trascendente para nuestras naciones, para nuestras instituciones y, porqué no, hasta para la vida diaria de nuestros ciudadanos. Me refiero a la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y a la Unión Europea.

En la Alianza Atlántica, principal vínculo de carácter político entre Europa y nuestros aliados transatlánticos (Estados Unidos y Canadá) y principal elemento de seguridad para nuestro continente en estos momentos, la desaparición de la Unión Soviética ha motivado un periodo de reflexión sobre el papel que debería desarrollar en este siglo que ahora comienza. Se ha concluido que la desaparición de la OTAN ocasionaría un vacío en nuestra estructura de defensa que hoy por hoy la Unión Europea no puede cubrir. Por otra parte la aparición de nuevos riesgos que ya se han materializado (o tienen potencial de hacerlo) en recientes conflictos, la amenaza que representan las armas de destrucción masiva, el terrorismo inter-

nacional y la extrema inestabilidad de algunas regiones limítrofes con nuestro continente han motivado que los países miembros de la Alianza hayan decidido encargar a la misma una nueva misión: la de promover activamente la cooperación y la estabilidad en el área de responsabilidad de la misma y en su entorno.

Por parte de la Unión Europea, está en proceso de consolidación una Identidad Europea de Seguridad y Defensa (IESD), el desarrollo de una Política Exterior y de Seguridad Común (PESC), y la participación en misiones de mantenimiento de la paz (*misiones de Petesberg*) cuando la Alianza no se involucre en las mismas. Se ha decidido que la Unión Europea se dote de una capacidad militar de intervención denominada *Headline Goal* consistente en una fuerza terrestre internacional de 60.000 hombres acompañados de fuerzas navales y aéreas de nivel equivalente al de cuerpo de ejército, para operar fuera de sus países de origen y con capacidad de desplegarse con un preaviso no superior a dos meses, y con la logística y reservas de efectivos necesarios para mantenerse en el terreno de operaciones indefinidamente en caso de que la operación se prolongara más de lo previsto.

En este panorama de seguridad, marcado por la acción conjunta y combinada, es decir, de todos los Ejércitos (tierra, mar y aire) y de todas las naciones aliadas en misiones de gestión de crisis (ir a la crisis antes de que la crisis llegue a nosotros), de mantenimiento de la paz y de ayuda humanitaria, surgen un gran número de aspectos que hacen imprescindible el desarrollo de nuevas capacidades de las Fuerzas Armadas y conseguir la adecuada interoperabilidad de los equipos para poder llevar a cabo operaciones conjuntas de forma eficaz y coordinada.

Tanto las nuevas capacidades como la interoperabilidad son conceptos en los que Investigación y Desarrollo (I+D) tienen un papel fundamental que desempeñar. Para llevar a cabo operaciones internacionales es preciso disponer de unas capacidades muy sofisticadas de mando y control, de comunicaciones adecuadas, y de sistemas de reconocimiento y distribución de información. Todo ello implica el descubrimiento y el uso de nuevas tecnologías que hay que desarrollar. También es necesario utilizar nuevos armamentos que permitan dar una respuesta proporcionada a la situación que se pretende corregir, que ese armamento tenga la precisión adecuada para no causar más destrucción que la estrictamente necesaria, y que se investiguen y desarrollen tipos de armas no letales con esta misma finalidad. Finalmente, si se quiere conseguir que las Fuerzas Armadas de distintos

países puedan operar de forma conjunta y eficaz es necesario conseguir la interoperabilidad de su armamento, su logística y sus aspectos técnicos.

Desde la perspectiva de la Unión Europea, la IESD y la PESC de la Unión necesitan de una industria de defensa europea competitiva con la de Estados Unidos. La inversión en I+D en los países de la Unión debe multiplicarse para poder proporcionar a nuestras Fuerzas Armadas las capacidades que hoy solamente tienen las de sus aliados norteamericanos.

Aquí merecería la pena dedicar un minuto a la Iniciativa de Capacidades de Defensa, lanzada por Estados Unidos en la Cumbre de la Alianza Atlántica en Washington en abril del año 1999 propugnando que los países aliados hagan un esfuerzo para dotarse de las capacidades necesarias para poder cumplir con éxito las nuevas misiones de la Alianza y en concreto para que Europa haga frente a sus responsabilidades en materia militar y se dote de nuevas capacidades que permitan a nuestros países participar eficazmente en misiones conjuntas y ambiente internacional.

Éste es el terreno en el que la I+D se desenvuelve, y nos permite ver la importancia de la misma no sólo desde el punto de vista técnico, industrial y político dentro del proceso de construcción de la Unión Europea sino también dentro del esquema de seguridad que nos proporciona la Alianza Atlántica, en la que España es, además, miembro de su estructura militar integrada.

A continuación repasaremos tanto en la Unión Europea como en la Alianza Atlántica el estado de la I+D y los organismos que en estas instituciones se han creado para desarrollarla.

## **La I+D de defensa en Europa**

En la Unión Europea, que en materia de seguridad y defensa tiene hoy en día una dimensión bastante limitada aunque creciente, ya se están dando los primeros pasos en el terreno industrial para crear una identidad y una concentración en materia de industria de defensa e igualmente en el terreno de I+D. En el año 1995 la Unión Europea se fijó como uno de los objetivos a alcanzar la reducción al mínimo de la reserva de soberanía que establece para los Estados miembros el antiguo artículo 223 de las Comunidades Europeas, actualmente artículo 296 del Tratado de Amsterdam.

En el seno europeo coexisten dos organizaciones, el Grupo de Armamento de Europa Occidental (GAEO) y la Organización de Armamento de Europa

Occidental (OAE0) que se ocupan de programas de armamento y que tienen un componente importante de I+D. La primera de estas Organizaciones, el GAEO, procede del antiguo Grupo Europeo Independiente de Programas (GEIP) creado en el marco de la Unión Europea Occidental. Su panel número dos se encarga de la cooperación en materia de investigación y tecnología. La OAE0, actúa como agencia ejecutiva del GAEO y su objetivo es ayudar a promover e intensificar la cooperación europea en materia de armamento, reforzar la base tecnológica europea de defensa y crear un mercado europeo de defensa. Para cumplir con estos fines la OAE0, según sus propios términos de referencia, podrá asumir el desarrollo de la investigación y tecnología en el campo de la defensa.

Con el fin de extender la cooperación en el terreno del armamento en general, y en materia de I+D en particular, las naciones del GAEO acordaron extender sus actividades a países que siendo miembros de la Unión Europea no lo fueran de este Grupo. Así se ha posibilitado la participación de Suecia, Finlandia y Austria. En cualquier caso las actividades de I+D del GAEO están fundamentalmente basadas en la contratación directa con las empresas, siendo muy pocos los trabajos realizados en organismos institucionales. Su principal herramienta ha sido el Programa EUCLID (*European Cooperation for the Long-term in Defence*). Como principio básico se intenta que la participación de las naciones en este Programa se financie mediante un reparto de los costes previstos entre los Ministerios de Defensa participantes. Cada nación materializa su participación en los proyectos que le interesan con las aportaciones de sus grupos industriales más interesados en cada uno de los proyectos.

Entre los objetivos actuales del GAEO figura el incremento de los fondos que las naciones de este Grupo destinan a los proyectos de I+D y la creación de un fondo destinado a proyectos de I+D que permita aprobaciones rápidas de los proyectos de interés y la financiación de los mismos. Se pretende asimismo fomentar el uso compartido de medios de pruebas y ensayos, tanto públicos como privados.

También dentro del GAEO se está desarrollando otro acuerdo denominado EUROPA (*European Undertaking for Research Organization, Programmes and Activities*) que servirá de marco para facilitar el establecimiento de proyectos de defensa compartidos por un número limitado de naciones miembro del Grupo.

En cuanto a la OTAN, la cultura de I+D está más desarrollada. Dentro de la Alianza Atlántica existe una Organización de Investigación y Tecnología

(RTO), procedente de la fusión del antiguo Comité de Análisis de Defensa y del Grupo Consultivo sobre Investigación y Desarrollo Aeroespacial, organizada en un Comité de Dirección y una Agencia de Investigación y Tecnología (RTA). Esta Agencia está compuesta a su vez por seis paneles de los que dependen diversos grupos de trabajo. Las actividades de la RTO se basan en la participación voluntaria de las naciones, sin aportaciones económicas y sin realizar apenas contrataciones a las empresas, y llevando a cabo los trabajos mediante los centros de I+D propios de los gobiernos de las mismas.

La RTO ha elaborado una estrategia de I+D para la Alianza cuyos objetivos principales son proporcionar una capacidad de I+D a la OTAN y a sus naciones, asegurar flexibilidad e innovación en las tecnologías de defensa y desarrollar un enfoque común para toda la I+D de la Alianza.

Además de las actividades de la RTO, la OTAN propicia numerosos desarrollos a través de estudios técnicos y técnico-operativos que llevan a cabo los numerosos grupos de trabajo encuadrados en los paneles dependientes de la Conferencia de Directores Nacionales de Armamento.

Por otro lado la OTAN ha prestado también su cobertura organizativa para que sus miembros puedan asociarse voluntariamente para llevar a cabo desarrollos comunes concretos incluso fuera de la estructura formal de la Alianza. Quizás el último ejemplo de esto es el proyecto del Sistema de Vigilancia Aérea del Terreno para dotar a la Alianza de una capacidad de vigilancia radar del terreno desde el aire.

Dentro de este panorama de actividades de I+D merece la pena recordar también que en Europa existe otro foro alternativo de reflexión que se conoce como «Iniciativa de las Seis Naciones», consistente en una Carta de Intenciones relativa a las medidas para facilitar la reestructuración de la industria de defensa europea. Este foro agrupa a Alemania, Francia, Italia, Reino Unido, Suecia y España, y ha establecido seis grupos de trabajo, uno de los cuales está dedicado a investigación y tecnología.

Además, existen también otros foros sectoriales específicos pero no exclusivamente militares que tratan sobre el futuro de determinadas tecnologías. Este es el caso de GARTEUR (*Group for Aeronautical Research and Technology in Europe*) donde participa junto con España Alemania, Francia, Holanda, Suecia y Reino Unido.

En resumen y a nivel europeo, existe un gran potencial para el desarrollo en común de proyectos de I+D, quizás impulsados por el coste y la com-



plejidad de las armas modernas, que aconseja recurrir a la cooperación aliada para su desarrollo. Otro impulso no menos importante que el económico o tecnológico para el crecimiento de la I+D en común es el proceso de integración política que de hecho constituye la Unión Europea. En un plano más específicamente militar, y como ya se ha expuesto anteriormente, la tendencia a llevar a cabo operaciones de muy amplio espectro mediante fuerzas conjuntas de carácter internacional no ha hecho sino acentuar la necesidad de disponer de capacidades más sofisticadas y del más elevado nivel tecnológico. Podría decirse que pese a que todavía persisten muchos problemas, la cooperación interaliada en materia de I+D, es hoy más necesaria que nunca.

### **La I+D+I en España y en las Fuerzas Armadas**

Tras algunos años de relativo estancamiento, Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) está recibiendo un fuerte impulso político a lo largo de los últimos años, que se traduce ante todo en términos económicos: el Gobierno espera que los recursos dedicados a I+D alcancen el 1,29% del Producto Interior Bruto (PIB) en el año 2003 y que sólo el 53,8% de esa cantidad proceda de fondos públicos. En concreto la previsión es que un 43,7% provenga de los Presupuestos Generales del Estado mientras que el resto sería aportado por las restantes Administraciones Públicas y por la Unión Europea. En lo referente a I+D+I se prevé que los recursos dedicados sean el 2% del PIB en el 2003, y que de ellos el 34,8% sean de origen público. Todo esto en conjunto significa que las dotaciones para I+D en los presupuestos tendrán que crecer en un 10% anual hasta el 2003.

El instrumento para poner en práctica la política de I+D+I del Gobierno es el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003, cuyos principios generales son estar al servicio del ciudadano y de la mejora del bienestar social, mejorar la competitividad empresarial, y contribuir a la generación de conocimiento.

El Plan Nacional comprende doce áreas sectoriales (además de cuatro de investigación básica y nueve científico-tecnológicas) de las cuales una corresponde precisamente a defensa. Esta área sectorial tiene importantes diferencias de enfoque con respecto a las restantes. Estas diferencias son principalmente:

1. Que la finalidad de la I+D de Defensa se orienta en sentido amplio a la obtención de sistemas de armas y, por lo tanto, contribuye a alcanzar

- sólo indirectamente los principios generales del Plan Nacional citados anteriormente.
2. Que mientras en el caso del Plan Nacional los agentes ejecutores, básicamente las empresas, son los que deciden que es lo que investiga o desarrolla, en defensa las Fuerzas Armadas y el Ministerio son los que deciden el objeto de los programas de I+D y, además, son los que financian los mismos.
  3. Que dado que la defensa es competencia exclusiva del Estado no admite ningún tipo de descentralización en su concepción, programación y financiación, al contrario de lo que ocurre en la I+D+I civil, en la que participan las diferentes Administraciones.
  4. Que el Plan Nacional tiene un horizonte más corto (cuatro años) que la planificación de defensa. Esta última alcanza también el largo plazo (15 a 25 años).
  5. Que la creciente cooperación internacional en materia de defensa impulsa a su vez a una cooperación en materia de I+D que obliga a establecer organizaciones diseñadas específicamente para desarrollarla y a recurrir a mecanismos también específicos de financiación y gestión de los proyectos y programas que se desarrollen en común.

En conjunto la I+D de Defensa tiene pues, una especificidad que aconseja darla un tratamiento separado del resto de las actividades de I+D+I de la vida nacional, pero que hace necesaria una estrecha coordinación entre ambas.

La planificación de I+D de Defensa se hace de acuerdo al Plan Director de I+D (PDID) de Defensa que regula las futuras actividades de I+D del Ministerio de Defensa. Este PDID define los objetivos a alcanzar, las directrices que se seguirán, la selección de las áreas tecnológicas en las que el Departamento concentrará sus esfuerzos en el periodo de vigencia del Plan y los programas y actividades que se desarrollarán durante el mismo.

Los programas de I+D contenidos en el PDID de Defensa se contemplan separados en dos grupos: aquellos que se desarrollarán en el ámbito de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) y los que llevará a cabo el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).

Hemos dicho que el PDID de Defensa contempla, a diferencia del Plan Nacional el largo y el muy largo plazo. Es difícil obtener predicciones científicas para horizontes tan lejanos pero es imprescindible valorar anticipadamente la importancia militar de los cambios e innovaciones para abor-

dar la planificación futura en un sector en permanente desarrollo tecnológico como es el de la defensa.

España invierte en I+D de Defensa aproximadamente 38.000 millones de pesetas por año y todas las decisiones en este campo son responsabilidad de la Secretaría de Estado de Defensa, quedando en manos de la DGAM (siempre bajo la autoridad del secretario de Estado) la planificación de todas las actividades de I+D del Ministerio y la elaboración del PDID de Defensa al que nos hemos referido anteriormente.

Las actividades de I+D de Defensa se llevan a cabo mediante contratos con las empresas del sector y con las universidades. En cualquier caso, la DGAM cuenta también con seis Centros dedicados básicamente a I+D. Estos Centros son el Polígono de Experiencias de Carabanchel, el Centro de Investigación y Desarrollo de la Armada, el Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería, el Laboratorio Químico Central de Armamento, la Fábrica Nacional de la «Marañosa» y el Centro de Ensayos de Torregorda. También hay que subrayar la existencia de dos organismos autónomos, el INTA y el Canal de Experiencias Hidrodinámicas del Pardo (CEHIPAR) que, siempre dentro del Ministerio de Defensa, desarrollan una importante actividad en el terreno de I+D.

En cuanto al reparto de los fondos disponibles, la mayor parte de los mismos se concentra en torno a un número limitado de programas con un fuerte contenido tecnológico. Estos programas absorben alrededor de 25.000 millones de pesetas cada año y entre ellos destaca particularmente el EF-2000.

Aunque los proyectos a desarrollar surgen de necesidades concretas de los Ejércitos, la excesiva duración de los desarrollos (que a su vez está motivada por la escasez de créditos para financiarlos), los cambios en las prioridades de los Ejércitos, las disminuciones presupuestarias, y las variaciones en las necesidades derivadas de nuestra participación en las organizaciones internacionales de defensa hacen que en la práctica algunos de los productos objeto de la I+D no lleguen nunca a adquirirse por las Fuerzas Armadas. Este hecho esteriliza una parte de los limitados recursos disponibles. Y precisamente esa limitación de los recursos hace que a veces se utilice la cobertura de programas de I+D para adquirir algunos productos cuya financiación hubiera correspondido quizás más adecuadamente al capítulo de inversiones en vez de al de I+D.

En cualquier caso las actividades de I+D consumen una parte no despreciable de los créditos presupuestarios y del personal del Ministerio de Defensa. En total unos 38.000 millones de pesetas por año si se incluyen las transferencias a los organismos autónomos del Ministerio, unas 1.300 personas pertenecientes a los seis centros de I+D de la DGAM, un número similar en el INTA (de los que alrededor de 500 son científicos y técnicos), y una cantidad variable pero inferior de personal destinado en las oficinas de programa, ubicadas en los cuarteles generales de los Ejércitos, donde desarrollan tareas de gestión de los mismos.

Con respecto a los organismos autónomos, el INTA y el CEHIPAR, no quiero dejar de compartir con ustedes que por su carácter comercial tienen que hacer frente, en especial el INTA, a un problema que indirectamente les afecta en su capacidad de planear y desarrollar actividades de I+D. Este problema se refiere a la estructura de los créditos transferidos a través de sus presupuestos: la mayor parte de las transferencias que reciben para realizar inversiones de carácter I+D corresponden al capítulo 7 del presupuesto de ingresos «Transferencias de capital». El hecho de que su presupuesto de ingresos no incluya partidas para hacer frente al capítulo 2 «Gastos corrientes en bienes y servicios», y sólo parcialmente para hacer frente a los gastos de personal (capítulo 1), obliga a estos organismos a buscar fuentes adicionales de financiación a través de operaciones comerciales, y esto implica obviamente una dedicación de parte de su personal a conseguir estos fondos en detrimento de las actividades de I+D.

Otro problema de estos organismos autónomos, también dentro del terreno del personal, es que las actividades de I+D del Ministerio de Defensa se ven condicionadas por la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, lo que conlleva una rigidez excesiva en la contratación y gestión de personal y no permite dar una solución flexible y rápida a los problemas existentes, derivados de que el personal propio del Ministerio de Defensa resulta insuficiente y no siempre adecuadamente adaptado. La contratación de personal adicional sólo resulta posible por vías indirectas, lo que obviamente no es la solución ideal.

En cuanto a las empresas del sector, a pesar de que están alcanzando un alto nivel de capacidad tecnológica, la situación no es tan alentadora como sería de desear en el terreno de I+D. En general existe un bajo nivel de iniciativas propias en este campo, y las que se llevan a cabo son respuesta en su mayor parte a peticiones concretas del Ministerio de Defensa y con cargo a sus presupuestos.

Por otra parte y también dentro de este campo, la capacidad de las empresas de llevar a cabo desarrollos completos de sistemas complejos (como son la mayoría de los programas importantes que se desarrollan en la actualidad) es muy reducida. Esta situación es consecuencia del reducido tamaño y los limitados recursos de las empresas del sector. A este problema se añaden los derivados del proceso de construcción europea y la consecuente cooperación industrial internacional entre los países aliados, aunque quizás este último punto puede considerarse, más que un problema, una solución a largo plazo.

En cualquier caso es indudable que las actividades de I+D se verán influidas en los próximos años como consecuencia de tres grandes procesos en curso en nuestra política de defensa: la profesionalización total de las Fuerzas Armadas, nuestra integración en la estructura militar en la Alianza Atlántica y la construcción de una defensa común en el marco de la Unión Europea.

La profesionalización de nuestras Fuerzas Armadas así como nuestra integración de la estructura militar en la OTAN implicarán una mayor necesidad de actividades de I+D para conseguir un nivel cualitativo que permita a nuestras Fuerzas Armadas participar con nuestros aliados en operaciones conjuntas de carácter internacional.

La IESD y nuestra participación en la misma, generará el desarrollo de programas comunes europeos de armamento, que por sí solos implicarán un aumento sustancial de las actividades de I+D.

En conjunto la política de defensa española lleva pareja una potenciación de nuestra política de I+D. Nuestras Fuerzas Armadas tendrán un menor volumen de efectivos pero deberán aumentar la calidad de su equipamiento y esto implicará un nivel importante de actividades de I+D para conseguirla. No es necesario decir que el nivel de estas actividades se verá directamente influido por los recursos disponibles y por las dotaciones de los presupuestos de Defensa.

## **EI INTA**

Permítanme que en este punto de mi ponencia emplee unos minutos en el INTA. El hecho de ser segundo jefe del mismo parece que me obliga a ello, pero lo hace aún más el hecho de que el INTA es el principal Centro de I+D para la defensa en España, que su campo de actuación sobrepasa en muchos casos el ámbito del Ministerio de Defensa entrando de lleno en la I+D de la sociedad española en su conjunto y que, por la calidad y

titulación de su personal científico y técnico, tiene una relación particular con la Universidad que encaja perfectamente dentro del contexto de estas *Jornadas* y de las personas que asistimos a las mismas.

Mi objetivo es que consideren al INTA como lo que es, un instrumento al servicio de la sociedad para su desarrollo científico y tecnológico a la vez que un Instituto del Ministerio de Defensa imprescindible para todos los aspectos de I+D que afectan a nuestras Fuerzas Armadas.

En una primera aproximación que precisaré posteriormente, el INTA, que nació como parte del Ejército del Aire, es actualmente una institución del Ministerio de Defensa en la que trabajan cerca de 1.500 personas, tiene un presupuesto anual de 18.000 millones de pesetas, y está localizado principalmente en Torrejón de Ardoz. También forman parte del Instituto el Centro Espacial de Canarias en Maspalomas, el Centro de Experimentación de «El Arenosillo», la Estación INTA-NASA de Robledo de Chavela, la Estación INTA-Agencia Espacial Europea de Villafranca del Castillo y un Centro de Ensayos en el aeropuerto de Granada.

Con la creación del Ministerio de Defensa en el año 1977, el INTA pasó a depender de la Secretaría de Estado de Defensa y su trabajo a separarse suave pero progresivamente del objetivo único de dar respuesta a las necesidades del Ejército del Aire. Se abrió entonces un proceso creciente de colaboraciones con otros organismos oficiales y con la industria privada. También comenzó entonces el Instituto a orientar su actividad al campo espacial marcándose una serie de objetivos que ha venido cumpliendo y apoyando satisfactoriamente los intereses en este campo del Ministerio de Defensa y de la comunidad científica española.

El INTA integra en sus planes las actividades de I+D de interés para la Defensa Nacional que le son asignadas por el secretario de Estado de Defensa a propuesta del director general de Armamento y Material. Estas actividades se incluyen en el PDID de Defensa y pueden incluir propuestas originadas por el propio Instituto y programas destinados a satisfacer necesidades directamente expuestas por los cuarteles generales de nuestras Fuerzas Armadas.

### *Recursos económicos*

Los recursos económicos del INTA proceden principalmente de las consignaciones específicas que le asignan los Presupuestos Generales del Estado. Su presupuesto para el año 2001 es de 17.917 millones de pesetas.

De ellos 7.096 millones constituye el capítulo «Transferencias de capital». Esta cifra junto con 3.000 millones procedentes de «Ingresos patrimoniales-variación del fondo de maniobra» se destinan a hacer frente a proyectos de I+D, atender a nuevo equipamiento y nuevas infraestructuras, y a la adquisición de nuevo material informático. Durante los últimos años el INTA ha destinado aproximadamente el 46% de sus inversiones a la realización de proyectos de I+D y el 54% a infraestructuras y equipamiento científico.

El INTA también recibe subvenciones, que tienen carácter extrapresupuestario, y que proceden principalmente de los Fondos Estructurales de la Unión Europea destinados a actividades espaciales. También acude a las distintas convocatorias de los Planes Nacionales y Autonómicos de Investigación, obteniendo recursos de distintas fuentes como el Ministerio de Ciencia y Tecnología y la Comunidad Autónoma de Madrid.

### *Personal del Instituto*

El personal del INTA está formado por funcionarios del Instituto, personal militar destinado en el mismo, funcionarios de los distintos cuerpos y escalas de la Administración, personal científico y técnico contratado, investigadores contratados en la modalidad de «trabajo en prácticas», personal laboral contratado y personal investigador de carácter temporal. Por otra parte, el INTA puede formar en sus instalaciones cuantos becarios estime oportunos y admitir alumnos en prácticas de otros organismos públicos con el objeto de completar sus ciclos formativos.

En total, el personal del Instituto es en estos momentos de alrededor de 1.400 personas y, en líneas generales, esta cifra está compuesta por 490 funcionarios y 796 personal laboral de plantilla. En cuanto a su valoración académica, el 42,5% del personal del INTA tiene titulación universitaria.

### *Áreas tecnológicas y distribución del esfuerzo del Instituto*

El INTA distribuye conceptualmente su actividad entre las áreas de tecnología aeronáutica, tecnología espacial, tecnologías de la defensa, y tecnologías diversas, aunque no existe una línea clara de separación entre las tecnologías de la defensa y las restantes, puesto que la mayor parte de todas ellas son en gran medida de doble uso.

En conjunto, el porcentaje relativo de la actividad dedicada a cada una de estas áreas tecnológicas, arroja durante los últimos cinco años el siguiente reparto:

- Tecnología aeronáutica: 20%.
- Tecnología espacial: 24%.
- Tecnología de defensa: 41%.
- Tecnologías diversas: 15%.

### *Conclusiones sobre el INTA*

A modo de resumen sobre el INTA, se puede decir que en los últimos años el Instituto ha orientado sustancialmente sus actividades hacia el espacio aunque también desarrolla una multitud de programas de I+D. En total están programadas para este año cerca de 200 actividades de este tipo.

El personal del INTA es algo de lo que hay que sentirse verdaderamente orgulloso. Aproximadamente 500 técnicos y científicos civiles dedican su vida a un trabajo variado y apasionante que abarca las más variadas disciplinas y campos de actuación, siempre al servicio de la sociedad a la que pertenecen y metidos, si se me permite la expresión, «hasta el cuello», en el campo de la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

El dinamismo del Instituto es particularmente interesante: se comienzan nuevos programas, se abandonan aquellos que ya no son útiles, su investigación se dirige a áreas de permanente utilidad, y su vocación de servicio al Ministerio de Defensa y a la sociedad española hacen del INTA un Instituto peculiar, yo diría de muy difícil sustitución, en el campo de I+D, y la innovación tecnológica.

En conjunto éste es el momento oportuno para que la sociedad española y sus Instituciones valoren la vocación de servicio del INTA, «inviertan» en una renovada confianza en el Instituto y busquen su colaboración en las áreas de su competencia.

### **Conclusiones**

Volviendo de nuevo al eje de mi ponencia, la I+D+I en la Fuerzas Armadas, y a modo de conclusiones finales, querría dejarles con algunas de las ideas que he expuesto anteriormente.

La I+D+I es muy importante en las Fuerzas Armadas. Lo ha sido siempre y lo sigue siendo ahora. Generalmente la I+D+I ha obtenido sus resultados más espectaculares en los conflictos de larga duración, como las dos guerras mundiales, pero ahora su principal impulso son la multiplicidad de riesgos y los conflictos asimétricos, que demandan un tratamiento nuevo



y nada convencional de la defensa, y una inversión sustancial en capacidades de mando y control, inteligencia y armamento de precisión; aspectos cuya implementación incorpora un alto componente de I+D.

Las directrices particulares de nuestra política de defensa también demandan un particular esfuerzo en el campo de I+D. La progresiva disminución de los efectivos militares, la implantación de unas Fuerzas Armadas totalmente profesionales, muestra integración en la estructura militar integrada de la OTAN y nuestra participación en la construcción de la IESD en el marco de la Unión Europea, necesitan de nuevas tecnologías, nuevos equipamiento, nuevas tácticas y nuevos elementos y capacidades que implican igualmente una intensa actividad en el terreno de I+D.

Nuestro Gobierno es consciente de esta necesidad y dedica un importante esfuerzo a la I+D, no sólo en su dimensión nacional, sino también en la específica de la defensa: hemos citado anteriormente porcentajes y previsiones de I+D con respecto al PIB. Sólo añadiría ahora un dato obtenido de la Dirección General de Asuntos Económicos del Ministerio que cifra en el 3,12% del presupuesto de Defensa, el gasto que se dedica a I+D lo que, con respecto a otros países aliados, nos coloca en el honroso grupo de las que investigan y desarrollan materiales y equipamientos militares en vez de colocarnos en el grupo de los que simplemente lo adquieren en el extranjero.

Una última idea a retener es que a pesar de todos los esfuerzos que se hagan es muy difícil optimizar satisfactoriamente el rendimiento de las inversiones en I+D de defensa. Antes hemos expuesto una serie de razones, y entre ellas la escasez de los presupuestos, las incertidumbres de los resultados de la labor de I+D y el carácter cambiante de las necesidades operativas de las Fuerzas Armadas, que hacen que de alguna manera se pierda parte del esfuerzo que se realiza.

En conjunto la I+D+I es tan necesaria como difícil de manejar y es un permanente desafío a las capacidades intelectuales de los científicos y a la visión a largo plazo de los gobernantes, pero es imprescindible para mantener a nuestras Fuerzas Armadas y a España en el filo de la alta tecnología y de un desarrollo industrial que no por militar deja de alcanzar a todos los rincones de la sociedad.

**SEGUNDA SESIÓN**

**EL DIÁLOGO CIENCIA-GOBIERNO  
EN LA TOMA DE DECISIONES POLÍTICAS**

## **EL DIÁLOGO CIENCIA-GOBIERNO EN LA TOMA DE DECISIONES POLÍTICAS**

Por AGUSTÍN ZAPATA GONZÁLEZ

### **Introducción**

Me gustaría que esta introducción aparte del interés formativo-informativo que tenga sirva como un «marco de confrontación» de ideas que ahora, si lo desean, podemos abrir.

El objeto de esta presentación es la relevancia que la investigación debe tener en la toma de decisiones políticas. Me estoy refiriendo especialmente a las políticas transversales que afectan a varios ministerios, gabinetes o departamentos, más que aquellas que al final dictan políticas concretas acerca de la ciencia.

Este discurso implica, en mi opinión, analizar tres aspectos de alcance:

1. El tema del asesoramiento científico.
2. Su relevancia en el mundo global.
3. La importancia que en él, tiene que comunicar la ciencia para formar sociedades democráticas que deben entender y juzgar las políticas gubernamentales.

### **El asesoramiento científico en la toma de decisiones políticas**

El hecho de vivir en una sociedad basada en el conocimiento ha acentuado la necesidad del asesoramiento científico para la formulación de políti-

cas tanto nacionales como internacionales. La omnipresencia de la ciencia y la tecnología es tal, que constantemente está incidiendo sobre las funciones más importantes de los gobiernos. La ciencia y la tecnología modulan, realmente, la velocidad e incluso la dirección del cambio en nuestras sociedades.

Las cuestiones a las que se enfrentan los gobiernos son cada vez más complejas y requieren decisiones que afectan profundamente las sociedades y las economías. Muchas de estas decisiones implican la evaluación de los riesgos que provocan cosas como las preocupaciones de la gente sobre su salud, seguridad y bienestar a largo plazo; otras intentan aprovecharse de las oportunidades que ofrecen los avances en ciencia y tecnología.

La importancia de una adecuada relación entre ciencia y gobierno es, por tanto, vital. Por una parte, la ciencia y la tecnología son responsables de impulsar el cambio. Aún más, la ciencia y la tecnología son, y deben ser cada vez más, una contribución indispensable al proceso de hacer política: son una aportación clave para el proceso de formulación de políticas y pueden contribuir a aclarar los términos del debate, los intereses en juego y las repercusiones de las alternativas consideradas. El objetivo en este contexto es integrar ciencia de calidad con programas políticos serios, potenciar la interfaz entre ciencia y gobierno de una forma responsable, transparente, rigurosa, imparcial y creíble, y contribuir así a centrar el debate político. Credibilidad e imparcialidad son aspectos cruciales en todo este proceso. La forma de gobernar y las opciones políticas se legitiman, en los procesos asesorados por la ciencia y la tecnología con el fin de convertirse en algo más que en una mera selección arbitraria derivada de luchas por el poder. Por su parte, la ciencia y la tecnología pierde en gran medida su tradicional aislamiento academicista cuando pasa al primer plano de la decisión.

Estamos ante un asunto que si siempre fue importante cada vez lo es más, debido al papel cada vez más central que las consideraciones científicas y tecnológicas desempeñan en la toma de decisiones y, por otro lado, a la desconfianza tradicional de la sociedad hacia la ciencia, de la cual me ocuparé al final de esta ponencia.

Está claro que las decisiones que toma un gobierno tienen que tener en cuenta un amplio abanico de contribuciones y consultar, según convenga, con los asesores competentes en otros aspectos de la política pública (por ejemplo, economía, administración pública, ciencias sociales, asun-

tos internaciones, etc.). Los responsables de las decisiones deben ejercer su papel legítimo para sopesar las múltiples contribuciones y elegir. La asesoría científica tiene que desempeñar su importante papel contribuyendo a las decisiones gubernamentales que sirvan a las cuestiones e intereses estratégicos de la nación en áreas tales como la seguridad y la salud pública, la protección del medio ambiente, la explotación de los recursos, la creación de riqueza, la innovación y la seguridad nacional. Se trata, en definitiva de mejorar las decisiones gubernamentales, reducir al mínimo las crisis y polémicas y aprovechar todas las oportunidades. En definitiva, simplemente contribuir a lo que llamamos el desarrollo sostenible. Estamos hablando, por tanto, no sólo del papel que la ciencia pueda desempeñar para remediar en un momento dado una crisis o un desastre, sino más bien de su importancia para la configuración del futuro.

En nuestra Constitución no se dice nada de la relación entre ciencia y gobierno. Hay, naturalmente, la idea de que los productos de la ciencia deben ser protegidos y la iniciativa científica preservada pero nada acerca de la relación entre ciencia y Estado. Ni tan siquiera aquí como en otros países las Academias y especialmente las de Ciencias o Medicina, son tenidas en consideración, fuera de actuaciones individuales como posibles asesores del Gobierno. Sin ir más lejos, hemos asistido al debate en los periódicos, el año pasado, entre el presidente de la Academia de Ciencias, profesor Martín Municio y el secretario de Estado de Investigación, don Ramón Marimón acerca del tema de «las vacas locas».

Esta relación ciencia-Estado se ha ido modificando a medida que ambos «poderes» se han ido haciendo más y más complejos. Ya no es suficiente con «decirle la verdad al poder». La verdad a veces es un «ente discutible y discutido» al que se llega mediante aproximaciones que la mayoría no comprende. Reconocer como poder a la ciencia hace que el diálogo con los Estados se haga en una igualdad de condiciones antes insospechada. Creo que todavía había que ir más lejos para asegurar la confianza pública en la ciencia. Es decir, creo importante trabajar en el campo político para dotar de significado a la idea de ciencia de calidad.

Un ejemplo de la relevancia de la ciencia en la toma de decisiones políticas es el hecho de que una organización como Greenpeace Internacional, que en muchas ocasiones choca frontalmente con gobiernos o instituciones supranacionales, mantiene un grupo de especialistas universitarios que le proporciona apoyo científico en sus campos de interés. Especialmente se ocupan de explicar la información científica de modo que sea fácilmente

comprensible para quienes no tengan una sólida base en temas científicos y tecnológicos. Se trata de que cualquier compromiso-posición que adopte Greenpeace esté avalado por una sólida base científica que al mismo tiempo, sea fácilmente entendible por la ciudadanía.

En un escenario mucho más cercano, el *Libro Blanco de la Defensa 2000* hace hincapié en la relevancia actual de la ciencia. En la página 117 de este Informe se dice literalmente:

«La acelerada evolución tecnológica obliga a asumir la investigación y el desarrollo como un esfuerzo continuado en el proceso de modernización de las Fuerzas Armadas.»

Otro ejemplo de la importancia que el asesoramiento científico tiene en la toma de decisiones políticas, puede verse en la política japonesa desde la década de los años sesenta. El éxito de Japón en los años sesenta y ochenta se debió en gran parte a un eficaz sistema de gobierno basado en una combinación de esfuerzos industriales y una política gubernamental de ayuda a las industrias. En este sistema el concepto de las llamadas «previsiones» desempeñó un papel fundamental. Esta iniciativa proporcionó un vehículo para la sinergia entre futuros posibles, deseables y elegibles pasados de:

1. La percepción de direcciones a seguir.
2. La identificación de metas a largo plazo.
3. La búsqueda de consensos.
4. El establecimiento de un adecuado reparto de responsabilidades entre los distintos sectores involucrados, demostrando ser un vehículo altamente eficaz al crear las condiciones para que el progreso tecnológico y el desarrollo socioeconómico se reforzaran mutuamente.

Las características de estas «previsiones» eran:

1. Se trata de proyectos concretos más que de programas generales o filosóficos. No son, por tanto, planes o simples predicciones sino políticas concretas para la configuración del futuro.
2. Mantienen una estrecha relación con la política industrial del país.
3. Se convierten en resultados concretos explicitados a través de la implantación de políticas en las que pueden participar los formuladores de la «previsión».

Un Informe sobre Ciencia y Gobierno publicado en 1963 por el Consejo Asesor del Ministerio de Industria y Comercio Internacional fue el primero que recibió el nombre de «previsión». Ese Informe sentaría las bases de un

proyecto de I+D a gran escala en el año 1966. De acuerdo a las directrices de esta primera «previsión» Japón consiguió un rápido crecimiento económico liderado por las industrias pesada y química. Tales industrias como consumidoras de energía, dieron lugar a graves problemas de contaminación que hicieron que la previsión para la década de los años setenta se formulara sobre la base de un cambio de la estructura industrial del país de forma que fuera más dependiente de la generación de conocimientos y menos de la energía y de los recursos. *De facto*, después de las dos crisis energéticas de los años setenta, de la apreciación del yen y del consiguiente estancamiento económico, la previsión para los años ochenta formulada en 1988 incidía de nuevo en «una estructura industrial basada en la creación y el conocimiento».

En los años noventa, en un momento en que el crecimiento económico se estaba frenando el Gobierno japonés decidió modificar su estrategia anterior de crear nuevos programas y en 1993 consolidó los ya existentes englobándolos en dos grandes proyectos: el Programa de Ciencia Industrial y Frontera Tecnológica y el llamado Nuevo Programa Amanecer.

El modelo de las «previsiones» no se ha agotado, pero ha habido necesariamente que ir adaptándolo a una realidad mucho más interdisciplinar. Así, la previsión del Ministerio de Industria japonés para el futuro de la industria emergente cifrado para el año 2010 y promulgado en 1996 identifica 15 industrias estratégicamente importantes pero necesitó ya de un enfoque integrado con otros ministerios. Todavía en marzo de 1999 el Gobierno japonés organizó un Consejo de la Competitividad Industrial donde junto a los ministerios de los departamentos más relevantes se sentaban los presidentes de las empresas líderes. Dicho Consejo estableció una estrategia nacional de la tecnología industrial y la competitividad en la que se reforzaban las relaciones entre universidades y empresas y se instaba a las primeras a liderar la difusión de las tecnologías innovadoras en el mercado.

Es evidente que la fórmula japonesa de las «previsiones» ha sido experimentada en otros sitios y que en nuestro caso debe hoy en día tener un carácter supranacional y «mirar» hacia Europa. Martín Apple, a la sazón presidente del Consejo de Presidentes de Sociedades Científicas, ha propuesto la creación de un Consejo de Dirección Europeo, universidad-gobierno-industria. Una red que dirija y actúe de forma específica y regulando lo que sea pertinente y mejorando el valor de cada uno de sus componentes.

César Nombela, todavía presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, proponía establecer redes de centros con contextos culturales distintos. Estas redes se establecerían no sólo entre centros que aportasen su experiencia en campos concretos o realizaran estudios prospectivos multinacionales sino también entre centros de diferentes especializaciones. Igualmente proponía la creación de un banco de datos de expertos y especialidades que permitiera la rápida movilización de los recursos humanos europeos ante una situación de emergencia.

Independientemente de la fórmula que se utilice para su estructuración la asesoría científica de los gobiernos debe tener en cuenta una serie de premisas generales y asumir unas directrices mínimas. Sin pretender hacer un balance exhaustivo de los principios en que se debe basar y las directrices que debe seguir el asesoramiento científico, si debemos recordar algunos aspectos que, de no tenerse en cuenta, anularían la eficacia de las iniciativas o, aún peor, las llevaría a abordar objetivos equivocados:

1. Es necesario que los responsables de las decisiones políticas estén convencidos de la importancia de buscar asesoramiento científico.
2. Los problemas a analizar han de enfocarse desde una perspectiva interdisciplinar, interministerial e internacional.
3. La asesoría debe nutrirse de fuentes científicas diversas y de expertos en muchas disciplinas de forma que se asegure la diversidad de pensamientos y de opiniones.
4. Los asesores científicos tienen que proporcionar una información científica seria, sin filtros y admitir cualquier concepción política.
5. En relación con los puntos anteriores, la selección de los asesores deberá de:
  - Ajustarse a la naturaleza del asunto y a la envergadura del juicio requerido.
  - Ser equilibrada para reflejar la necesaria diversidad de opiniones y contrarrestar los posibles sesgos.
  - Incluir, al menos, algunos expertos de otras disciplinas, no necesariamente científicas.
  - Ser rotatoria sustituyéndose periódicamente a los asesores.
6. Los responsables de las decisiones políticas deben:
  - Exigir que los asesores declaren cualquier conflicto de interés previo a su intervención durante todo el periodo de la prestación de su servicio.



- Documentar claramente la asesoría científica recibida e informar posteriormente a los asesores de las decisiones tomadas.
  - Separar cuidadosamente el hecho y el juicio científico de sus puntos de vista personales cuando se hable de las cuestiones a abordar.
  - Ser conscientes de los posibles sesgos de los asesores y estar alerta a ellos en la asesoría recibida.
  - Implicar a los asesores científicos en la formulación de la política concreta, a fin de mantener la integridad de la asesoría durante todo el proceso de toma de decisiones.
7. Los asesores científicos y los responsables de las decisiones necesitan comunicar al público y a las partes interesadas el grado y naturaleza de la incertidumbre científica y el sistema de gestión de riesgo utilizado para alcanzar las decisiones.
  8. La transparencia es uno de los elementos capitales para el buen funcionamiento de la asesoría científica:
    - La transparencia implica una articulación clara sobre como se toman las decisiones, como se presentan las políticas en foros abiertos y como el público debe acceder a las conclusiones de los científicos lo antes posible.
    - La transparencia debe asegurar, igualmente, que los intereses públicos se tienen en cuenta a la hora de formular la política.
  9. Los responsables de las decisiones deben institucionalizar un proceso de seguimiento que incluya, una vez tomadas las decisiones, por un lado la posible aparición de nuevos instrumentos científicos que podrían modificar el asesoramiento y por otra una evaluación del propio proceso de toma de decisiones que implique desde auditorías a la creación de Comités Parlamentarios de Supervisión capaces de medir el éxito tanto de la asesoría como el de las decisiones políticas tomadas.
  10. Finalmente hay que considerar una estrategia para poner en práctica los principios y directrices aconsejados por la asesoría científica que debería comenzar por proporcionar formación a los responsables de las tomas de decisiones y comunicar las conclusiones a todos los interesados y al público en general.

### **La toma de decisiones políticas en el marco de la globalización**

Si fortalecer esta integración de ciencia y gobierno que propugnamos es necesario en un país, todavía lo es más cuando se aborda la dimensión internacional de los gobiernos. A través de las fronteras no existe un único

ejecutor, un único gobierno con el monopolio sobre el uso legítimo de las decisiones. Por eso, cuando los entes soberanos tienen que elegir un modo de proceder, la persuasión y el debate con base científico-técnica se hacen incluso más importantes.

La globalización ha convertido a todo el mundo en escenario. Han desaparecido las distancias y aumentado la movilidad geográfica de los factores de producción al tiempo que las fronteras políticas son mucho menos significativas. El ámbito de la autoridad gubernamental se ha reducido, por tanto, poderosamente. La capacidad política de los países individualmente considerados está ahora fuertemente restringida. La aprobación de una ley en un parlamento de un país prohibiendo cierta actividad sólo tiene, en el momento actual, una relativa eficacia puesto que las fronteras políticas han prácticamente desaparecido. Por el contrario, los consorcios privados internacionales están sustituyendo el papel de los gobiernos en el liderazgo científico-tecnológico y con ello en el socioeconómico.

Los ejemplos son muchos. Las disputas en el seno de la Unión Europea el año pasado sobre la importación de carne de vacuno inglesa, y las distintas conclusiones y recomendaciones de los expertos sobre los diferentes puntos de vista expresados demuestran que no estamos a salvo de tales problemas en la Unión Europea. Este caso pone de manifiesto la importancia de una plataforma permanente a nivel de la Unión Europea, que merezca la confianza de todas las partes, capaz de proporcionar información de referencia y de basarse de forma continua en la experiencia acumulada en cada uno de los países.

Naturalmente el tema no queda circunscrito a la Unión Europea sino que se extiende a otros países, particularmente a Estados Unidos pero también a Japón. Estamos viendo como las pautas sobre la conservación del medio ambiente, el agujero de ozono, los alimentos transgénicos se llevan adelante con criterios muy distintos entre Estados Unidos y Europa o los criterios se cambian u olvidan a voluntad de unos y otros.

Es necesario, ahora más que nunca, basarse en criterios científicos y tecnológicos de calidad en los que no haya el más mínimo atisbo de parcialidad.

Siguiendo los criterios descritos en el apartado anterior, la creación de redes sobre el concepto de centros de excelencia, utilizado en el documento del comisario Busquin sobre la Europa de la ciencia y base del próximo VI Programa Marco, podrían proporcionar una base común de cono-

cimiento que sirviera de interlocutor entre los agentes ejecutores de la ciencia y los responsables de las políticas.

### **La comunicación del asesoramiento científico**

La utilización del asesoramiento científico por cualquier instancia con capacidad de decisión queda totalmente invalidada si no se dan los cauces necesarios para dar publicidad, de manera clara y comprensible, a los procesos seguidos y las conclusiones alcanzadas.

El científico debe llegar, consiguientemente, tanto al Estado como responsable de las decisiones políticas, como a la sociedad que es la receptora final de tales decisiones. Debe, de ese modo, romper la creencia muy asentada de que el debate científico es, en gran medida, el coto cerrado de una élite.

Comunicar, que no divulgar, la ciencia cobra, pues, un sentido total. Los científicos deben ser los encargados de hacerlo, asegurando la veracidad y seriedad de lo comunicado y huyendo de la banalidad, porque comunicar no es vulgarizar.

He escrito recientemente y me gustaría repetirlo aquí para acabar esta presentación que entiendo la comunicación científica como una actividad formativa y un marco de confrontación entre los investigadores y la sociedad. Una formación que, basada en la utilización de la analogía, la desacralización del hecho científico, la ironía y el humor, permita que la gente no sólo entienda los descubrimientos científicos sino que sea capaz de debatir sobre ellos con criterio.

**TERCERA SESIÓN**

**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN  
(I+D+I) EN LOS PROGRAMAS MILITARES  
ESPACIALES DE ESPAÑA**

## INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LOS PROGRAMAS MILITARES ESPACIALES DE ESPAÑA

Por MOISÉS FERNÁNDEZ ÁLVARO

### Antecedentes

En España las Fuerzas Armadas tienen una larga tradición de participación en actividades espaciales a partir de los primeros programas de colaboración con la Administración Nacional para la Aeronáutica y el Espacio (NASA) y la Organización Europea de Investigación Espacial (ESRO) —antecedentes de la Administración Europea del Espacio (ESA)— y la propia ESA.

La colaboración del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y de la Comisión Nacional de Investigación del Espacio (CONIE), hasta su disolución, con la NASA permitió la instalación España de una red de estaciones espaciales de seguimiento de las sondas y naves tripuladas en las misiones *Géminis* y *Apolo*. De las instalaciones iniciales (Robledo de Chavela, Cebreros y Fresnedillas en la Península, y Maspalomas en Gran Canaria) se mantiene en uso continuado por la NASA la estación de Robledo de Chavela (para el seguimiento de sondas en el espacio profundo —Marte, planetas exteriores y cometas—) mientras que Fresnedillas y Maspalomas continúan su actividad en numerosas misiones con organismos de varios países.

Es de destacar la participación del INTA en las numerosas misiones y proyectos de desarrollo tanto en el segmento terreno de control como en el segmento usuario en los que la estación espacial de Maspalomas colabora con organismos tales como ESA (con ESRIN y con ESOC), EUMETSAT, NASDA, HISPASAT, Telefónica, COSPAS-SARSAT, etc. Su estratégi-

ca ubicación, la excelente cualificación técnica de su personal humano y una importante dotación de equipos y antenas, permite aventurar una creciente actividad en misiones LEO (con satélites en órbita baja) y GEO (con satélites en órbita geoestacionaria) tanto civiles como militares.

También se mantiene una creciente actividad de la estación espacial de Villafranca del Castillo operada por la ESA en numerosas misiones científicas.

Todo este potencial unido a una importante experiencia acumulada en la estación de seguimiento y control de Arganda —propiedad de HISPASAT, S. A.— en los diez años de operación de los satélites de comunicaciones civiles y militares HISPASAT, permite asegurar que en nuestro país existe una amplia y sólida experiencia en el control de satélites.

En lo que respecta al desarrollo de satélites, al principio de los años setenta se iniciaron en el INTA los primeros estudios y diseños que culminaron en el año 1974 con el lanzamiento desde la base aérea de Vandenberg (Estados Unidos) del INTASAT. Este pequeño satélite cumplió su misión experimental de comunicaciones durante los dos años de vida previstos, y permitió formar un grupo de técnicos y científicos que sin duda fueron los pioneros en la industria espacial española de los años ochenta y noventa. Desafortunadamente este primer, y en cierto sentido sorprendente, hito no tuvo continuación en un plan nacional del espacio a medio y largo plazo; no obstante creó un nivel de conocimiento en el INTA de las ciencias espaciales suficiente para participar continuadamente en el diseño, fabricación y ensayos de los primeros equipos de vuelo desarrollados en nuestro país para misiones de la ESA.

### **Primeros programas de aplicación militar**

A finales de los años ochenta la actividad industrial en el campo espacial y el interés del espacio como medio operacional militar fructifican en el inicio de los primeros programas espaciales de aplicación militar: la participación en el programa franco-italiano HELIOS I de observación de la Tierra, y el desarrollo de la misión gubernamental de los satélites de comunicaciones HISPASAT 1A y 1B.

#### *Programa HELIOS I*

A comienzos de los años noventa España entra con un 6% de participación financiera en el Programa, que incluía el desarrollo de dos satélites

(lanzados en los años 1995 y 1998), el segmento terreno de control (instalado en Francia) y toda la infraestructura terrena (equivalente en cada uno de los tres países) para la recepción, procesado, explotación y archivo de las imágenes y datos obtenidos.

Las sucesivas fases de desarrollo y operación del sistema ha permitido obtener una experiencia y un *know-how* significativos tanto en el proceso Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) industrial como en el desarrollo de nuevos procedimientos operativos.

El aprovechamiento del retorno industrial correspondiente al 6% de participación permitió el desarrollo de:

- Equipos completos de vuelo tales como el *baffle* (obturador de entrada), el transpondedor, etc.
- *Software* de vuelo para control y análisis de la misión.
- Equipamiento HW y SW para el procesado, explotación y archivo de imágenes y datos generados.
- Estaciones para la recepción de imágenes: antenas, equipo de radiofrecuencia, *software* de control de antena, etc.
- Procedimientos de calificación, ensayo y mantenimiento de equipos, de aceptación y mantenimiento orbital, etc.

Similarmente, en los casi siete años de operación se han desarrollado:

#### 1. Misiones de observación para aplicaciones:

- Nacionales, en preparación de operaciones militares, obtención de inteligencia, etc.
- Conjuntos, para misiones internacionales de Organización de Naciones Unidas (ONU), Unión Europea Occidental, mantenimiento de la paz, de desarme, humanitarias, etc.
- Procesos de optimización en el planeamiento de misiones para un mejor aprovechamiento de los pases y recursos orbitales en relación al porcentaje de retorno operativo.
- Técnicas de optimización en el procesado y explotación de imágenes, con nuevos algoritmos de fusión de imágenes, procesos automatizados de reconocimiento de formas predeterminadas, procesos automáticos de archivo de datos de interés, procesos de mejora de la precisión en la georreferenciación, etc.

Un beneficio adicional se consiguió al aprovechar el lanzamiento del HELIOS 1A para la puesta en órbita como pasajero del minisatélite UPM-Sat desarrollado en la Universidad Politécnica de Madrid.

## *Programa SECOMSAT*

La decisión en el año 1989 de poner en marcha el Programa HISPASAT, primer satélite español de comunicaciones multimisión, incluyendo una carga útil en banda X para comunicaciones militares, determina el inicio del Programa SECOMSAT para el desarrollo e implantación de una red de terminales terrestres (portátiles, transportables, móviles, fijos, etc.) y navales de comunicaciones utilizando la misión gubernamental de los satélites HISPASAT 1A y 1B colocados en la posición orbital geoestacionaria de 30 grados Oeste, y que fueron lanzados en los años 1992 y 1993 respectivamente.

Durante los diez años de vida operativa de dichos satélites, se ha mantenido el desarrollo y suministro de numerosos terminales, adaptados a las necesidades de cada unidad militar, plataforma o misión específica de comunicaciones. La urgente necesidad de proporcionar comunicaciones por satélite en los comienzos de la guerra de los Balcanes puso en marcha a finales del año 1992 el Programa CICSAT dirigido por el INTA para dotar a las fuerzas allí estacionadas y a las de apoyo de los primeros terminales (estación de anclaje, un terminal naval para el portaaviones, y varios móviles y portátiles) en un plazo récord de un año.

El desarrollo de estos satélites, de su centro de control con una completa dotación de terminales de control y *ranking*, y de una compleja red de terminales en bandas X y Ku (para las comunicaciones civiles) reactivó la industria nacional del sector, e impulsó la creación de un nuevo sector nacional de provisión de servicios de comunicaciones. En ambos entornos los programas citados permitieron el proceso I+D+I con el desarrollo de:

- Equipos de vuelo para la misión gubernamental y los transpondedores en banda Ku: antenas, unidades de control de potencia, etc.
- Equipamiento HW y SW de control para el centro de control de los satélites, de los terminales de control y *ranking* en banda S y de los terminales de aceptación y mantenimiento en órbita.
- Una gran diversidad de terminales de comunicaciones terrestres y navales en bandas X y Ku para usos militares y civiles.

Asimismo, durante estos años de operación continuada se han desarrollado:

- Misiones de comunicaciones por satélite para numerosas aplicaciones conforme evolucionaban los requisitos operativos.
- Nuevas técnicas de optimización de las capacidades radioeléctricas:



simulación de anchos de banda disponibles, técnicas de modulación, potencias de satélite y de los terminales en tierra, asignación dinámica de frecuencias, control de interferencias (PIM), interconexión de haces, etcétera.

- Procedimientos de detección y control de intrusiones e interferencias provocadas.

La experiencia técnica, comercial y de gestión adquirida por la empresa HISPASAT, S. A. le ha permitido continuar la adquisición e implantación de nuevas capacidades orbitales: el HISPASAT 1C lanzado en el mes de febrero del año 2000 para usos civiles en banda Ku, y los satélites HISPASAT 1D (para usos civiles en banda Ku) y AMAZONAS (en la posición orbital 61 grados Oeste, para usos civiles en banda Ku y C) previstos para finales del año 2002 y comienzos del año 2004 respectivamente. De este modo su cartera de capacidades le permite ofertar:

- Contratación de capacidades a largo plazo, mediante alquiler de transpondedores completos o fraccionados por periodos superiores a un año.
- Contratación de capacidades a tiempo parcial, con alquiler a medio plazo, reserva por suscripción, usos ocasionales, etc.

### *Programa MINISAT*

En paralelo con los desarrollos de grandes satélites científicos de comunicación y observación de la Tierra, se inician a principios de los años noventa los primeros estudios y diseños de aplicación de las nuevas microtecnologías (en nuevos materiales y procesos de fabricación, y principalmente en los campos tecnológicos de la óptica y la electrónica), que conducen al desarrollo de pequeñas plataformas espaciales optimizadas a la misión particular con una reducción muy notable de los costes de desarrollo, del tiempo de fabricación y del riesgo de obsolescencia técnico-operativa. En determinadas aplicaciones (comunicaciones móviles, navegación y posicionamiento) se abre el campo a procesos de fabricación casi en serie con plazos de entrega inferior a un año.

El rápido reconocimiento de estas potencialidades entre el personal técnico y científico del INTA permitió impulsar un programa tecnológico de I+D+I en el INTA a corto y medio plazo: el Programa MINISAT que se inicia en el año 1992.

Este Programa se configura en su creación en tres fases o familias de plataformas:

1. Fase MINISAT 0.
2. Fase MINISAT 01.
3. Fase MINISAT 02.

#### FASE MINISAT 0

El objetivo en esta fase era el diseño, desarrollo y calificación espacial de una plataforma espacial modular, de bajo coste y con capacidad de evolución y crecimiento en:

- Tamaño.
- Potencia eléctrica disponible.
- Capacidad y precisión de maniobrabilidad.
- Capacidad de almacenamiento de datos y de la velocidad de transmisión a tierra.
- Capacidad de procesado y reprogramación a bordo.

Las misiones que se preveían con este concepto básico de plataforma eran:

- De carácter científico, en órbitas bajas (LEO) dedicadas a experimentos astronómicos, meteorológicos o de física espacial.
- Para demostradores tecnológicos, como prototipos de naves operativas más complejas.
- Para comunicaciones móviles en órbita baja.
- Para posicionamiento y navegación.

En esta fase se culminó con éxito el proyecto MINISAT 01, y se finalizaron los estudios preliminares de selección de cargas útiles para el proyecto MINISAT 02.

#### EL PROYECTO MINISAT 01

Este proyecto ha supuesto la primera realización íntegra en España de una misión espacial incluyendo las fases de:

- Diseño: de la misión, del satélite y del segmento terreno de control.
- Desarrollo: de los equipos y subsistemas, integración, ensayos y calificación del sistema y sus componentes.
- Lanzamiento: integración con el lanzador e implantación del centro de control durante el lanzamiento en el INTA, y lanzamiento desde la base aérea de Gando en un Pegasus de la compañía americana OSC.
- Operación: implantación del centro de control del satélite en las instalaciones del INTA en Torrejón de Ardoz, la estación terrena de control

en la estación espacial de Maspalomas y el centro de operaciones científicas en la estación espacial de Villafranca del Castillo.

El INTA fue el responsable de la dirección y gestión del proyecto completo, contando con la participación de la industria y la universidad para el diseño y fabricación de diversos equipos y subsistemas, y la integración de la plataforma.

El satélite incluye tres experimentos científicos:

- EURD, para el estudio de la radiación difusa en el extremo UV.
- LEGRI, para el estudio de fuentes de radiación o de baja energía con nuevos detectores de HgI<sub>2</sub>.
- CPLM, para el estudio de puentes líquidos en microgravedad y un demostrador tecnológico.
- ETRV, dispositivo para regular la velocidad de despliegue de grandes antenas y mástiles en el espacio.

El satélite lanzado en el mes de abril de 1997 y próximo a finalizar su vida útil (prevista inicialmente para dos años), ha sido un completo éxito superando con creces sus expectativas de funcionamiento y de capacidad de obtención de datos científicos. Este proyecto supuso, nuevamente, un reto para la comunidad técnica y científica nacional y ha permitido la formación de un equipo humano de vanguardia en la tecnología espacial.

#### FASE MINISAT 1

El objetivo de esta fase era el diseño y desarrollo de un sistema espacial completo de observación de la Tierra. En el año 1995 se inician los estudios preliminares de misiones de observación de la tierra en órbita LEO para:

- Aplicaciones militares: en las bandas pancromática e infrarroja, con alta resolución.
- Aplicaciones civiles: en las bandas pancromática, multiespectral e hiperspectral, con resoluciones medias.

En esta fase se inician los proyectos siguientes:

- Proyecto ISHTAR, iniciado en 1997 se realizan las fases de definición y diseño preliminar de un sistema completo con resolución submétrica para aplicaciones militares satisfaciendo las necesidades operativas del Estado Mayor de la Defensa.
- Proyecto CÉSAR, iniciado en 1998 en cooperación con Argentina, se realiza la fase inicial de definición de un sistema completo con resolución

- métrica para aplicaciones civiles, y se finalizan los desarrollos de un demostrador de cámara pancromática de 5 metros de resolución (proyecto IRIS) y el modelo de vuelo de un espectrógrafo (proyecto MEGA).
- Proyecto FUEGO, desde el año 1997 con sucesivas financiaciones de la ESA se desarrollan varios estudios de constelaciones para alerta temprana de fuegos en el entorno mediterráneo, con participación de empresas de los países afectados.

#### FASE MINISAT 2

El objetivo en esta fase era el diseño de una plataforma para misiones de comunicaciones en órbita geoestacionaria. En el año 1997 se inician los estudios preliminares en dos líneas de desarrollo:

- Implementación de nuevos equipos o subsistemas en la plataforma básica: motor de apogeo para transferencia a órbita GEO, tanques de combustible de gran capacidad para alargar la vida útil, nuevo subsistema de generación y distribución de alta potencia eléctrica, control térmico de alta eficiencia, etc. Este proyecto denominado MINISAT-COM finaliza en el año 1999 y fue el antecedente del próximo sistema de comunicaciones militares actualmente en desarrollo.
- Diseño y desarrollo de un demostrador tecnológico (incluyendo los ensayos de calificación) de una antena activa anti-interferencias en transmisión y recepción. Este proyecto denominado antena GOBI, financiado con fondos de la Comisión Interministerial de Ciencias y Tecnología (CICYT) en el marco del Programa DESAT, finaliza en el año 1999 y fue el antecedente del proyecto IRMA actualmente en desarrollo para fabricar una antena activa en recepción para el citado próximo sistema de comunicaciones militares.

### **Nuevos programas de aplicación militar**

La sucesión de estudios y análisis antes citados y la creciente necesidad de dar continuidad operativa a los satélites HELIOS I e HISPASAT determinó la puesta en marcha de nuevos programas.

#### *Nuevos programas en observación de la Tierra*

A mediados de los noventa el Gobierno francés plantea la sucesión de los satélites HELIOS I con un desarrollo evolucionado en el que se incorpora la banda infrarroja para dotarla de capacidad de visión nocturna, una apreciable mejora en la resolución (con capacidad ahora submétrica), y un

sustancial aumento en la capacidad de almacenamiento de datos a bordo y en la velocidad de transmisión a tierra. Este nuevo proyecto se denomina HELIOS II.

En paralelo, inicia una modificación en el sistema existente de procesado y explotación de imágenes para adaptarlo a los nuevos requisitos. Este proceso provoca el inicio del proyecto ESTADO-4 en el que se desarrolla esta evolución en el sistema español.

En el año 2001 el Gobierno español anuncia la participación en el proyecto HELIOS II con una aportación financiera del 2,5% (que implica un retorno operativo equivalente) similar a la que con anterioridad había anunciado Bélgica. El lanzamiento del satélite está previsto para el año 2003.

Durante el año 2000 el INTA inicia un nuevo proyecto para la mejora y aumento de capacidades del sistema de gestión, explotación y distribución de imágenes y datos que permita al usuario una mayor flexibilidad en la demanda de información e incorpore al sistema las imágenes de cualquier sensor disponible (espacial o aerotransportado). Este nuevo proyecto se denomina SIGESTREDI.

A finales del año 2001 el Ministerio de Defensa español ha anunciado el interés de participar con un 6% en las fases de definición y desarrollo del Programa PLEIADES puesto en marcha por Francia en el año 2000. Este Programa junto con el Programa italiano COSMO-Skymed constituirán el núcleo del futuro sistema europeo de observación de la Tierra incorporando satélites ópticos (dos del PLEIADES) y satélites radar (cuatro satélites SAR del COSMO).

Desde su concepción se plantea una aplicación dual para:

- Necesidades de seguridad y defensa: con requisitos de prioridad, confidencialidad, clasificación de productos y control de las peticiones.
- Necesidades civiles: incluyendo usuarios institucionales, científicos y comerciales.

Este Programa adopta la filosofía de empleo de pequeñas plataformas, más versátiles y con costes de desarrollo mucho más reducidos.

### *Nuevos programas en comunicaciones por satélite*

A principios del año 2000 se inician en el INTA estudios preliminares para evaluar la viabilidad de un sistema dedicado para uso militar en bandas X

y Ka, y elaborar las especificaciones técnicas tanto del satélite como de la antena activa con capacidad anti-interferencias. Estos trabajos fructificaron en junio de 2001 con la puesta en marcha de los proyectos que se detallan a continuación.

#### PROYECTO SPAINSAT

Este proyecto incluye el desarrollo y puesta en servicio de un satélite para proporcionar servicios de comunicaciones gubernamentales en bandas X y Ka comercial, de modo prioritario al Ministerio de Defensa español y con la capacidad de alquilar el excedente de capacidad a otros gobiernos u organizaciones internacionales. Para la gestión y explotación comercial del proyecto se crea la sociedad HISDESAT, S. A.

El desarrollo y fabricación del satélite se ha contratado a la compañía americana LORAL y el desarrollo, fabricación e instalación del segmento terreno de control se encargarán las empresas españolas INDRA e INSA.

La estación principal de control del satélite se ubicará en las instalaciones de HISPASAT en Arganda aprovechando la amplia experiencia en la constelación de satélites HISPASAT. La estación alternativa de control y *ranking* y el centro de control alternativo se ubicarán en la estación espacial de Maspalomas que, como anteriormente se ha expuesto, atesora una larga experiencia.

Este nuevo satélite, cuyo lanzamiento está previsto para el año 2004, también se colocará en la posición orbital 30 grados Oeste. La capacidad exterior redundante se proporcionará con el satélite XTAR-EUR desarrollado por la compañía americana XTAR, cuyo lanzamiento está previsto para el año 2003, previéndose su colocación orbital en la posición 29 grados Este.

Aunque los centros de control y gestión, principal y secundario, del satélite XTAR-EUR se ubicarán en Estados Unidos la estación principal de control y *ranking* se instalará también en la estación espacial de Maspalomas pudiendo dar apoyo en caso de necesidad al satélite SPAINSAT.

Este satélite permitirá aumentar muy significativamente las capacidades actuales al poder abarcar la banda X completa, proporcionar una cobertura fija, dos móviles y una global, con una matriz de interconectividad entre ellas muy amplia.

## PROYECTOS IRMA Y SIRMA

Simultáneamente al inicio del desarrollo del satélite, el INTA contrata a EADS-CASA Espacio el desarrollo y suministro de una antena activa de recepción con capacidad anti-interferencias en base a los trabajos y especificaciones que se habían ido realizando; este proyecto se ha denominado IRMA. La dificultad asociada a desarrollar un modelo de vuelo de la antena a partir de un demostrador con un calendario muy exigente (inferior a dos años) constituye un auténtico reto tecnológico y un brillante exponente de la I+D+I nacional. De hecho, existen grandes expectativas para su implementación en otros proyectos futuros, incluyendo también la capacidad de transmisión.

En paralelo con este proyecto se está desarrollando un simulador de antena, proyecto SIRMA, que permitirá:

- Simular y analizar las nuevas capacidades que permitirá la antena activa.
- Optimizar esas capacidades y permitir una mayor flexibilidad y agilidad en la asignación de enlaces.
- Aprovechar plenamente la capacidad anti-interferencias de la antena junto con un nuevo proyecto, que se iniciará en breve, de desarrollo del *software* operacional para detectar, localizar y analizar la interferencia y posteriormente calcular y conformar el haz para anularla.

Sin duda, la puesta en marcha del nuevo sistema de comunicaciones militares es un verdadero generador de la I+D+I en la industria, en la universidad y en el propio Ministerio de Defensa.

## Conclusiones

En nuestro país a lo largo de más de 25 años las Fuerzas Armadas y la tecnología espacial han estado en estrecho contacto, de tal modo que los sucesivos proyectos de desarrollo e innovación tecnológica en el campo espacial han permitido una continuada generación del conocimiento y su aplicación en el campo operativo, aún en las más diversas y críticas condiciones.

Los programas nacionales y de cooperación internacional en los que ha participado el Ministerio de Defensa a través de diversos órganos técnicos y operativos han propiciado y generado proyectos de I+D+I con amplia participación de la industria del sector y de la Universidad.

La colaboración del Ministerio de Defensa con organismos como CICYT o el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial y con otros Ministerios (de Industria, de Ciencia y Tecnología) utilizando mecanismos movilizados y financiadores de la Administración (planes nacionales de I+D, planes marco europeos, etc.) ha sido un elemento clave en la generación de la innovación espacial aplicada a sus necesidades.

Finalmente, puede afirmarse sin lugar a dudas que la aportación de recursos presupuestarios y humanos —a través de la Dirección de Armamento y Material e INTA— del Ministerio de Defensa ha sido un elemento clave para fomentar la I+D+I espacial en España.



**CUARTA SESIÓN**

**LA INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA:  
REALIDAD, PROBLEMAS Y ESPERANZAS**

## LA INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA: REALIDAD, PROBLEMAS Y ESPERANZAS

POR ANTONIO FERNÁNDEZ-RAÑADA Y MENÉNDEZ DE LUARCA

Para lo que voy a decir conviene resumir, aún muy someramente, la historia del problema español con la ciencia. Contra lo que se suele suponer, España tenía los elementos necesarios para jugar un papel destacado en la revolución científica, cuando ésta se inició en el siglo xvi. Apunto brevemente dos datos significativos. Copérnico elaboró su modelo heliocéntrico usando las *Tablas Alfonsíes*, que era todavía la mejor colección de datos astronómicos y que había sido elaborada en Toledo bajo el impulso de Alfonso X y que usaba como origen de longitudes el meridiano de Toledo, como hoy se usa el de Greenwich. Eran algo así como el *Catálogo General de Cambridge* para los astrofísicos de hoy. Por otra parte, la teoría correcta de la caída de los graves, que se suele atribuir a Galileo y es considerada como un hito de la revolución científica, fue descubierta mucho antes por Domingo de Soto, y explicada por primera vez en el mundo en la Universidad de Alcalá, nuestra Complutense, en el curso 1522-1523 y publicada luego en Salamanca en el año 1551.

Pero esa ciencia que podría haber sido se hundió, ya en siglo xvi, por dos razones principales. Una fue el triunfo de la mentalidad contrarreformista que condujo al temor y la desconfianza ante las nuevas ideas, expresada en una norma que tuvo graves consecuencias: la pragmática promulgada por Felipe II en el año 1559, que prohibía a los españoles estudiar en universidades extranjeras y también traer a profesores de otros países sin un permiso especial, bajo penas muy severas; la otra, el descuido de la base

doctrinal de la ciencia ante las urgentes necesidades de resolver los problemas prácticos de la administración del imperio, la navegación o el laboreo de las minas, por ejemplo. Lo más importante es que estas dos razones conspiraron para establecer una visión meramente utilitaria de la ciencia, que era considerada como algo útil, pero cuyas ideas pueden ser innecesarias o peligrosas.

Pero la ciencia tiene dos rostros que no se pueden separar del todo: trata de ideas y también de cosas; o sea, que ofrece nuevas maneras de entender el mundo y permite resolver problemas de la vida de la gente. Si sólo se ocupa de las cosas, o sólo lo hace de las ideas, resulta inviable y estéril. No puede vivir uno sólo de esos rostros porque necesita de la fertilización cruzada entre la razón práctica y la teórica. Por eso la concepción utilitaria e instrumental de la ciencia provocó su derrumbe.

El hundimiento de la ciencia española contribuyó a una situación paradójica al final del Siglo de Oro: una cultura extraordinaria y brillante, pero alejada de muchas nuevas ideas sobre el mundo (por eso estaba ya marcada por su propia decadencia). Por desgracia, a pesar del tiempo transcurrido, todavía no nos hemos librado del todo de esa extraña situación, porque la historia de los esfuerzos posteriores por reimplantar la ciencia en España fue una colección de fracasos, debidos en buena parte a una visión unidimensional e instrumental que, por tener las nuevas ideas, sólo veía lo útil.

Sin tener en cuenta todo esto, no es posible entender la manera en que la Ilustración se hundió en España, tras un florecimiento esperanzador. Pues una cultura con tan escasa componente científica era incapaz de mantener vivo el proyecto de la modernidad.

Un punto merece ser tristemente subrayado. La combinación de crecimiento económico y la mejora de la higiene debida al desarrollo de la química y la medicina causaron en gran parte de Europa un descenso marcado de la mortalidad. En España, en cambio, se mantuvo muy alta durante todo el siglo. Al llegar al año 1900 teníamos 29 fallecimientos por mil habitantes y año frente a 18 de Gran Bretaña y Holanda, 19 de Bélgica, 20 de Portugal, 22 de Francia o 24 de Italia. La esperanza de vida era inferior a 30 años a mediados del siglo e inferior a 35 años en 1900. O sea, que los españoles no sólo eran menos cultos y más pobres, también vivían menos.

La penuria científica influyó también muy negativamente en la educación, cuya reforma y mejora había sido estimulada en toda Europa por la necesidad de incorporar la ciencia a los planes de estudio.

Si observamos las opiniones que muchos líderes económicos y políticos de hoy tienen sobre la ciencia, caemos en la cuenta de que abundan posturas muy análogas a las que imperaban hace un siglo sobre la educación. Me refiero a la concepción instrumental o a la obsesión utilitaria. En ello se incluyen poderes sociales, económicos o políticos de gran influencia. Algo parecido ocurría entonces con la educación. Su estado era desastroso. En el año 1916, tras muchos esfuerzos del regeneracionismo, España dedicaba a la enseñanza sólo el 1,5% de su presupuesto, frente al 2,25% de Portugal, el 2,5% de Italia, el 6,5% de Francia o el 8,5% de Inglaterra.

Un obstáculo muy serio para corregir esta situación era la concepción utilitaria de la educación que imperaba entonces. Según ella, sólo hay que enseñar cosas útiles, que se vayan a usar más tarde en la vida diaria. Con esa premisa, implícita o incluso explícita, algunos se negaban a atacar a fondo el problema. Pues, desde esa perspectiva, ¿por qué dedicar grandes cantidades de dinero a enseñar a leer y escribir a niños que no van a leer ni escribir luego? Por la misma razón no había ningún interés en enseñar y estudiar ciencia: el país no la usaría. La poca necesaria la aportaría algunas empresas extranjeras que explotaban las riquezas del país.

Hoy entendemos bien la falacia de la concepción utilitaria. Es cierto que hay que enseñar cosas útiles, pero esa no es la única misión de la educación general, ni siquiera la más importante. Sí lo es, en cambio, lograr una formación integral que capacite a la persona para, mediante el desarrollo de una cierta versatilidad intelectual, hacer frente a nuevos retos y nuevas formas de vivir y pensar que no podemos prever en este momento. Un país cuyos ciudadanos no hayan sido suficientemente educados no tendrá la agilidad colectiva necesaria para moverse con firmeza ante las demás naciones. Así le ocurrió a España, pues lo peor de la obsesión utilitaria es que acaba resultando muy inútil.

Hablo de estas cosas porque, después de la transición política iniciada hace 20 años, se reprodujo la misma situación, cambiando educación general por ciencia y tecnología. Se instauró implícitamente entre quienes toman las decisiones (lo que ahora se llama usando el término inglés *the decision makers*, «los decisores») la concepción instrumental de la ciencia, según la cual, ésta debe desarrollarse sólo pensando en sus aplicaciones concretas a corto plazo. Esta idea se combinó con una opinión extendida de modo difuso pero persistente: como España tiene sol, playas y hoteles, debemos dedicarnos a ser un país de servicios, abandonando las pretensiones de competir en tecnología con los países que llamamos avan-

zados. Nótese que esto equivale a aceptar una división del trabajo a nivel internacional, relegándonos nosotros mismos a jugar el papel subalterno de país poco creativo en la escala mundial, pues no hay que olvidar que el poder está hoy muy relacionado con la capacidad tecnológica. Los casos de California, Florida o Tejas muestran lo absurdo de esta opinión, pues la tecnología no impide explotar el turismo. Pero de modo implícito y a veces explícito ha servido para inhibir los intentos por resolver de una vez este problema. Desde ese punto de vista, si no vamos a usar la tecnología, ¿para qué dedicarnos a la investigación tecnocientífica? Es más fácil comprar la poca que necesitamos.

Pero este punto de vista ignora algo muy importante: sin una buena innovación y tecnología propia el valor añadido de lo fabricado es menor. La manufactura bajo licencia obliga de hecho a importar muchas componentes ya elaboradas, con lo que aumenta la proporción del trabajo que es simple ensamblaje. En el caso extremo están los países del Tercer Mundo, cuyas fábricas más modernas se dedican al puro ensamblaje. Los países más avanzados ensamblan también, pero en mucha menor cuantía y, además, exportan componentes a otros países. España está cerca de estos últimos, pero claramente separada de ellos. Los índices de innovación de la empresa española son mucho menores que las de Estados Unidos, Francia o Alemania, por poner unos pocos ejemplos. Un estudio hecho por la Fundación COTEC en el año 1997 daba cuenta de la opinión que merecemos a los europeos. Una conclusión merece destacarse, aunque cabía esperarla: la imagen que proyectamos es la de un país demasiado tradicional, del que no conviene fiarse en cuestiones tecnológicas, lo que, según COTEC, representa un serio obstáculo para las empresas españolas a la hora de exportar. La idea tópica de un país turístico es muy agradable para el verano, pero se vuelve contra nosotros al competir en un mercado tan duro y tan abierto como el de hoy.

Sea por decisión deliberada o por falta de entendimiento del problema, sigue habiendo una diferencia enorme entre España y los demás países avanzados. En 1994, Francia invertía en Investigación y Desarrollo (I+D) el 2,38% de su Producto Interior Bruto (PIB), Alemania el 2,33%, Reino Unido el 2,11%, Estados Unidos el 2,6%, Japón el 2,8%. En cambio España se quedaba en el 0,85% (2,7 veces menos que el promedio de Francia Alemania y el Reino Unido). El número de personas que trabajan en I+D era en España de 2.050 por cada millón de habitantes, mientras que el promedio de Alemania (5.860), Francia (5.420) y el Reino Unido (4.780) era de 5.350 por millón de habitantes, 2,6 veces más que en España. La situación

no ha cambiado de modo significativo desde entonces. Respecto a las patentes, la situación es aún peor. La solicitud de patentes por personas o individuos residentes en España está prácticamente estancada desde el año 1990 en el nivel de 2.200 solicitudes por año, lo que representa unas 55 por millón de habitantes y año. Como comparación el número de patentes es muy superior en Alemania, Francia y España (respectivamente, 550, 230 y 305, frente a nuestros 55). Además, ese número creció en la Unión Europea un 20% entre los años 1990 y 1997, mientras en España no ha variado casi. Esto traduce otro dato importante: las empresas se portan aquí peor que el sector público, pues su contribución relativa es mucho menor que en el promedio de la Unión Europea.

Así, los porcentajes de gasto público en I+D en 1998 era en España del 0,43% frente al 0,74% de Alemania, el 0,80% de Francia o el 0,60% del Reino Unido. O sea, que ese porcentaje es en España 1,4 veces menor que en el promedio de los tres grandes de la Unión Europea. En el caso del gasto de las empresas, los porcentajes son: España 0,43%, Alemania 1,58%; Francia 1,38%; Reino Unido 1,2%. O sea que las empresas españolas invierten en I+D, 3,2 veces menos que las de los tres grandes, en porcentaje del PIB. Como vemos nuestro desequilibrio con el mundo avanzado es mayor en el sector privado que en el público.

Alguien podría pensar que la cosa no es seria. Al fin y al cabo, parece que estamos en un buen momento económico, las empresas mantienen o incluso ganan mercados, el paro sigue siendo alto pero descende. ¿Es que las bajas cifras de I+D no tienen importancia? Para entenderlo, conviene percatarse de que hay tres tipos de innovación: en la organización, en la red comercial y en la tecnología. Es cierto que las empresas españolas han mejorado mucho en los dos primeros, pero poquísimo (en promedio) en la tercera. Pero el sistema de innovación es como una mesa de tres patas: necesita de las tres, si le falla una es muy difícil de mantener. Mejorar sólo en organización y en red comercial no es suficiente para mantenerse al día. Me temo que estamos viviendo del amplio margen de mejora que había en las dos primeras patas de la mesa y que, como no hemos avanzando lo bastante en la tercera, podríamos encontrarnos con problemas en un futuro no muy lejano

La comparación de esas cifras con nuestro gasto en educación o con el escaso número de educadores de hace 100 años es tan inevitable como elocuente. La falacia es, además, muy parecida. Lo mismo que un país necesita que sus ciudadanos tengan una formación básica integral, la tec-

nociencia es necesaria, cada vez más desde hace 200 años, para tener la capacidad de enfrentarse a la convivencia entre las naciones y a futuros desafíos en la escena mundial que son ahora imprevisibles. Sin ese elemento hay poca capacidad de reacción.

No estamos hablando de una cuestión puramente académica como algunas de las que a menudo nos ocupan en la Universidad. Para muchas gentes es una cuestión vital, aunque no lo sepan. Nos lo explica un informe del Banco de Bilbao-Vizcaya del año 1994. Según él:

«La destrucción del tejido industrial que se ha producido en la última década ha supuesto la pérdida de casi un 80% en la cuota de mercado interno de la industria española y ha elevado la cifra de paro en más de 400.000 personas sólo entre 1991 y 1994.»

¿A qué puede deberse tal fracaso industrial? Sin duda una buena parte a la escasa inversión en I+D, que es un elemento esencial para mantener la competitividad.

Parece que la historia se repite: hace un siglo pocos entendían las consecuencias futuras de la penuria educativa; hoy pocos se preocupan por la relación entre la escasez en I+D y nuestras cifras de paro, a pesar de la angustia y la cantidad de discusiones que estas producen.

Todo esto indica que el problema de la ciencia y la tecnología en España es mucho más importante y profundo de lo que se suele creer. No es tan sólo de una cuestión técnica, superable con normas convenientes o financiación adecuada (aunque todo eso sea muy necesario). Muy al contrario, se trata de un problema cultural en el sentido más hondo de la palabra cultura, entendida como el conjunto de ideas socialmente aceptadas, presupuestos o pautas de comportamiento que caracterizan la manera de estar en el mundo de una sociedad. Creo que constituye un problema histórico no resuelto aún, que se debía haber abordado al inicio de la transición, junto con otros tales como la forma del Estado o el papel de la Iglesia o el Ejército. Pueden parecer palabras exageradas, pero no lo son porque la capacidad de usar el conocimiento científico para mejorar la vida de las gentes es imprescindible hoy para mantenerse a la altura de los tiempos. Lejos de ser ésta, una reflexión puramente intelectual, tiene un interés práctico muy claro, pues si no se entiende así es muy difícil acercarse siquiera a una solución. Para resolverlo es preciso explicarlo a la opinión y ejercer el liderazgo persuasivo, sin duda la forma más noble de la política, lo que exige la definición de un gran objetivo colectivo y una labor continuada de contactos personales.

Hace 100 años el angustioso estado de la educación exigía con urgencia crear muchas escuelas, dar muchos certificados, nombrar muchos maestros. No cabe duda de ello. Es conocida la frase de Costa en 1898:

«La mitad del problema español está en la escuela: a ella debió su salvación, y debe su grandeza presente Alemania.»

(En la otra mitad estaban sin duda para Costa, el campo y la organización del Estado). Santiago Alba, comparando el gasto en escuelas de España y Estados Unidos, interpretaba así el desastre del 98:

«La escuela yanqui, racional, humana y floreciente, es la que ha vencido a la escuela de España, primitiva, rutinaria y pobre. ¡Tenía que suceder!»

Ante tanto trabajo por hacer, parecía acuciante la necesidad de concentrarse en las escuelas y en la estructura formal del sistema educativo.

Por eso muchos dieron en fiarlo todo a la mejora de la escuela, esperando que su mejora acabaría cambiando completamente la sociedad. Me parece que Ortega y Gasset fue quien entendió mejor el problema, que tenía para él mayor gravedad, pues no creía que se resolviese sólo de esa manera. En su concepción de la filosofía, el verdadero conocimiento debe estructurarse en un sistema. La ciencia de la naturaleza le parecía esencial por ello, valorando especialmente la física matemática, porque combina la observación de la realidad con el máximo rigor. Una cultura con poca ciencia le parecía incompleta.

Eso caracterizaba su exigencia de europeización y así decía:

«Europa igual a ciencia, todo lo demás es común con el resto del planeta.»

No soy filósofo, pero permítanme que entienda esa frase como la exigencia de una ciencia (en su sentido más amplio que incluya todas las formas de conocimiento) que no sea meramente instrumental, sino entendida como un ejercicio del pensamiento crítico. Para él, el problema educativo era más grave que para otros, pues no veía sólo en él una cuestión de grados académicos o de inauguración de escuelas, cosa que se consigue cambiando algunas leyes y dedicando más dinero, sino que se necesitaba alumbrar una cultura crítica, capaz de analizar los problemas hasta el fondo, y esto es algo mucho más difícil.

Lo que Ortega decía, en otras palabras, es que no se deben mezclar las condiciones necesarias con las suficientes y que importa mucho distinguir



entre dos niveles: uno es el de una población con estudios adecuados para desarrollar sus profesiones; otro el de un país creativo al nivel de los demás y cuyos cuadros directivos puedan mantener la tensión de la competencia internacional. Y para este segundo nivel no bastaba con crear escuelas; según Ortega, había que generar una opinión pública, a través de las minorías dirigentes, que, además de tener estudios, fuese capaz de vivir la Modernidad por tener la ciencia bien integrada en la cultura, lo que es un elemento necesario para conseguirlo. Me parece que podríamos hablar aquí de dos maneras de actuar: por abajo y por arriba, es decir, escuelas y pensamiento crítico. Por eso Ortega le pedía a Costa más definición en sus propuestas, porque creía firmemente que la educación formal (por muy importante que fuese) no es suficiente, para lo que España necesitaba. Había que actuar por arriba.

Un indicio de que es así nos lo da la Junta para la Ampliación de Estudios, creada en el año 1907. Se concentró más en formar investigadores que en la enseñanza. O sea, que actuaba por arriba. Su efecto en el primer tercio de siglo fue enorme, tanto que Tuñón de Lara opina que tuvo mayor importancia que «la cacareada generación del 98».

Viene esto a cuento porque creo que la transición política española se reprodujo esta antinomia entre actuar por debajo y actuar por arriba, con la política tomando el lugar de la educación. Me explicaré. Es cierto que los españoles necesitábamos con acucia la libertad política. Se explica así que, ante el peso de la urgencia y deslumbrados por el éxito formal de la transición, muchos diesen en pensar que esto bastaba para recuperar el tiempo perdido, que las formas políticas llevarían por sí mismas a la solución de todos los problemas. No era así, pero como la economía mejoraba formalmente, nuestros gobernantes cayeron o quisieron caer en la trampa de los índices macroeconómicos, como algunos lo fiaban todo entonces a las tasas de escolarización. Se creó así la ilusión engañosa de que ya estaban resueltos nuestros problemas históricos. Pero no era así.

Debo ser más preciso en este punto. ¿Cuáles son esos problemas históricos? Hay un cierto consenso sobre ello. Los historiadores clasificaban los problemas de España durante el siglo XIX en cinco grupos o cuestiones. Son: la cuestión social (ricos y pobres), la cuestión militar (situación de las Fuerzas Armadas respecto al poder Civil), la cuestión religiosa (¿Estado laico o confesional?), la cuestión de la forma del Estado (monarquía o república) y cuestión regional (hoy se habla de la articulación del Estado de las autonomías). Hay todavía mucho por hacer y, sin duda, tam-

bién opiniones discrepantes sobre ellos, pero no producen ya los tremendos enfrentamientos entre españoles, o, simplemente, las grandes pasiones de hace no tanto tiempo. Los cinco están básicamente resueltos, aunque queden algunos flecos, especialmente en el último.

Pero me temo y me parece que no eran cinco sino seis, pues ese esquema olvidaba uno muy grave: la incorporación de la ciencia y la tecnología a la cultura. No es cuestión que apasione a los españoles ni que los incite a enfrentarse entre sí, como ocurría con los demás. Por eso pocos piensan en él como problema histórico. Mientras las otras eran, alguna lo es todavía, cuestiones estridentes, éste es un problema silencioso o, todo lo más, rumoroso, susurrante. Pero es muy insistente y grave y puede llegar a serlo más porque la penuria tecnológica hace que un país sea más vulnerable y le sea más difícil poder enfrentarse al principio de la «Reina de Corazones». Opera mediante dos mecanismos; uno actúa sobre las cosas y el otro sobre las ideas. El primero consiste en un efecto sobre el mundo de la empresa y la economía, haciendo menos competitivo al país; el segundo, en un menoscabo de la cultura causado por una cierta inhibición del pensamiento crítico sobre las nuevas ideas. (No me refiero tanto al que se ejerce en las universidades, aunque también, como al que se extiende por todo el medio social).

¿Qué pasa en España? ¿Cómo son la ciencia y la tecnología españolas? Cuando algún amigo me hace esta pregunta, le suelo contestar que se caracterizan bien con tres palabras: buenas, escasas y académicas. Son buenas porque obtienen resultados interesantes, de buen nivel, en temas importantes, según criterios internacionales. Quiero decir que si buscamos en las grandes revistas internacionales de investigación, o en las actas de los congresos científicos también internacionales, nos encontramos con la presencia de españoles, en medio de gentes de todos los países. Muchos son *referees* de las grandes revistas, miembros de sus consejos editoriales o bien organizadores de grandes congresos. Son escasas porque el número de investigadores españoles por millón de habitantes es pequeño, como antes expliqué. Son académicas porque se ocupan sobre todo de cuestiones básicas y poco aplicadas matizándose el desequilibrio según las especialidades y siendo distinto en la ciencia que en la tecnología. Como consecuencia, hay muy poca relación entre las empresas productivas y las universidades y los laboratorios públicos o las oficinas públicas de investigación. Esta característica es muy clara. Una buena manera de ilustrarla nos viene de un estudio de la revista norteamericana *Science Watch*, del ISI (*Institute for Scientific Information*) de Filadelfia, la

institución de referencia para el estudio del estado de la ciencia en todo el mundo. El estudio consideraba el estado de la ciencia de materiales (también llamada física, química o tecnología de materiales) en todo el mundo. Esta disciplina tiene una enorme importancia en la tecnología de hoy, por lo que en una directiva de la Unión Europea de hace pocos años se recomendaba a los países miembros que la potenciasen. Se trata de una de las ramas científicas mejor desarrolladas en España.

La revista *Science Watch* estudió esta ciencia en el quinquenio 1990-1994, examinando los 300 artículos o informes más citados de cada año en aproximadamente 150 revistas internacionales de ciencia de materiales y tecnología, recogidos en los índices del ISI. Entre esos 1.500 trabajos, seleccionó las instituciones con más de ocho trabajos de alto impacto y los países con más de diez y, en cada caso, los clasificó de dos maneras: una por el número total de citas y otra por el impacto medio de sus trabajos (o sea, por el número medio de citas que había recibido cada artículo). Los resultados son ilustrativos. España queda muy bien en la clasificación por impacto medio: los tres primeros son Estados Unidos (21,0); Japón (19,2) y Alemania (19,1), tras ellos vienen Canadá (17,3); Suiza (16,5); Francia (16,0) y España en un muy honroso séptimo puesto con 15,6 puntos, por delante de Suecia, Reino Unido, Dinamarca, Austria, Israel o Taiwan. En cambio en la clasificación por número total de citas, España no aparecía, quedando muy lejos del décimo país que era Holanda (con sólo 15 millones de habitantes). Esto muestra que la ciencia de materiales española es buena (alto impacto de sus mejores obras), pero escasa (pocos artículos citados).

Las otras dos clasificaciones de *Science Watch* se refieren a empresas o instituciones: España no aparece por parte alguna. Esto muestra que la ciencia española es académica y poco aplicada. Ninguna empresa española figura en la lista, tampoco ninguna universidad. Por ciento entre las 25 primeras instituciones de cada lista, hay 14 empresas, de otros países. Esta situación se reproduce en las mejores ramas de la ciencia española. Algunos dicen que el problema de la ciencia en España no es grave, otros afirman que no tiene solución. Los primeros aducen que en estos tiempos podemos aceptar una división del trabajo a nivel internacional, otros harán la investigación y el desarrollo tecnológico que nosotros tenemos las playas y los turistas. Se equivocan por muchos motivos, hoy día la tecnología es esencial para el prestigio y el poder de un país y resignarnos a ser un país de servicios es relegarnos nosotros mismos a un papel secundario. Si ciencia y tecnología nunca estaremos de verdad entre los países avanzados.

Quienes dice que el problema no tiene solución se basan en una supuesta incapacidad de la ciencia española para resolver el problema. Creo que están equivocados, como muestra el estudio de *Science Watch*: hay pocos investigadores y es cierto que nos faltan científicos aplicados pero en conjunto son buenos. Se aplica aquí una ley de sociología de la ciencia que afirma que una comunidad de científicos aislados de la sociedad y con poco estímulo exterior tienden más bien a plantearse temas básicos y poco aplicados, que con frecuencia les produce más satisfacción intelectual. Pero una segunda cláusula de la misma ley afirma que, si esos científicos son capaces de hacer ciencia básica bien, según los indicadores internacionales, serán capaces también de desarrollar buenas aplicaciones si reciben el estímulo adecuado, en forma de salario, reconocimiento o mejores medios para su trabajo. Pues bien, la comunidad científica y técnica española ha demostrado que puede desarrollar las aplicaciones industriales que necesita la sociedad. En otras palabras: un fuerte desarrollo tecnológico en España, es a la vez, necesario y posible.

## Bibliografía

- CAMACHO, J. J. y SOLS, I. (1995): *Revista Española de Física* número 9 (4), p. 56.
- Datos del *Anuario sobre Tecnología e Innovación* de COTEC. (2001): Madrid
- FERNÁNDEZ-RAÑADA, A. (1995): *Los muchos rostros de la ciencia*. Ediciones Nobel, Oviedo.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M. (1974): *La introducción de la ciencia moderna en España*. Editorial Ariel. Barcelona.
- MORÓN, C.: (1996): «El alma de España», *Cien años de inseguridad*. Ediciones Nobel. Oviedo.
- ORTEGA Y GASSET, J. (1908): «Asamblea para el progreso de las ciencias», *El Imparcial*, 27 de julio. Obras Completas, capítulo I, p. 102.
- *Cartas de un joven español*, p. 674.
- SÁNCHEZ RON, J. M. (1988): «Introducción»; MORENO, A: «De la física como medio a la física como fin. Un episodio entre la Ilustración y la crisis del 98». *Ciencia y Sociedad en España*, editada por SÁNCHEZ RON, J. M.: El Arquero-Consejo Superior de Investigaciones Científica. Madrid.
- TORTELLA, G. (1981): «La economía española, 1830-1900», *Historia de España*, dirigida por TUÑÓN DE LARA, M.: volumen 8. Editorial Labor. Barcelona.
- TUÑÓN DE LARA, M. (1974): *La España del siglo XIX*, p. 410. Editorial LAIA. Barcelona.
- WALLACE, W. A. (1968): *Servicio Internacional de Información para Estudiantes* número 59, p. 384

## **QUINTA SESIÓN**

# **NUEVOS TEMAS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN UNA PERSPECTIVA COMPARADA: DIVERSIDAD Y EFICIENCIA DE LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS**

# NUEVOS TEMAS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN UNA PERSPECTIVA COMPARADA: DIVERSIDAD Y EFICIENCIA DE LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS

Por JOSÉ MOLERO ZAYAS

## Introducción

La complejidad de los elementos que determinan el desarrollo de las economías en el contexto actual, avanza más rápidamente que los instrumentos analíticos disponibles y que nuestra capacidad de elaborar datos estadísticos suficientemente representativos de aquella realidad. Por este motivo, la reciente publicación de la Segunda Encuesta Europea de Innovación (CIS 2) (1) debe saludarse con cierto optimismo, en la medida que nos permite tener una visión más actualizada de la realidad que sustenta uno de los factores competitivos de mayor significación: la creación y uso de capacidades tecnológicas por parte de las empresas y, a partir de ellas, la profundización de la competitividad de la economía nacional en el contexto internacional.

Desde su creación las Encuestas Europeas se han considerado como un instrumento de gran valor para mejorar significativamente el conocimiento de la realidad tecnológica de las empresas de los países europeos y, consiguientemente, para adaptar las políticas de apoyo a la innovación a un contexto más real. En lo concerniente a la economía española, esto permite por primera vez la comparación sistemática con

---

(1) CIS 2: Anotar aquí los datos técnicos. Especificar que la información se refiere a datos de 1996.

otros países europeos de datos relativos a la innovación empresarial toda vez que los datos de la primera encuesta (CIS 1) eran totalmente insuficientes para el caso español (2). Con ello estamos en disposición de ampliar el análisis de la innovación en nuestra economía que habitualmente se lleva a cabo mediante la comparación de datos de corte macroeconómico como el esfuerzo en Investigación y Desarrollo (I+D), las patentes, publicaciones científicas, etc. Es cierto que algunos de aquellos datos también pueden estudiarse a nivel sectorial, pero las encuestas europeas incluyen una riqueza muy superior del proceso de innovación de las empresas y, por tanto, iluminar aspectos novedosos de la política de innovación.

El objeto de este trabajo es revisar la situación de la innovación de las empresas españolas en una perspectiva comparada, utilizando los datos del CIS 2, y establecer algunas pautas para una reflexión renovada sobre la orientación de la política de fomento de la innovación tecnológica. Para ello, en el siguiente apartado se harán algunas consideraciones sobre el enfoque que debe primar en el análisis del cambio técnico y el marco general en que el mismo se ha desarrollado en la economía española en los últimos años. En el tercer epígrafe se analizarán los datos más representativos procedentes del CIS 2, ampliados con otros de fuentes actuales españolas. En el siguiente se discutirán aspectos relevantes de la relación entre innovación y eficiencia económica y, finalmente, en el último, se harán algunas sugerencias sobre la política de innovación.

### **El cambio tecnológico: pautas de análisis y marco de referencia de la economía española**

La fuerza que en todos los ámbitos tiene la imposición de un pensamiento único tiene como consecuencia preocupante la tendencia a olvidar la relación que existe entre los enfoques adoptados, los análisis realizados y las acciones recomendados. Así, desde los tempranos trabajos de Solow el análisis económico más ortodoxo del cambio técnico ha centrado la discusión en las consecuencias que el mismo tiene para el crecimiento económico, dejando fuera de su consideración el estudio de los procesos internos que articulan la innovación tecnológica y su relación con la dinámica y eficiencia económicas. Precisamente lo que se conoce como

---

(2) Con el fin de subsanar esta laguna, en un anterior estudio (Molero y otros 1998), se realizó un estudio con la finalidad de poder comparar los datos de varios países europeos contenidos en el CIS 1 y los de la Encuesta Española de Innovación correspondiente a 1994.

teoría *evolucionista*, *neoschumpeteriana* o *estructural* de la innovación (3) ha tratado de dar respuesta a esa laguna partiendo de una concepción distinta del objeto de estudio y situando el análisis en el marco de la creación y transmisión de conocimientos, con el protagonismo en manos de las personas y organizaciones que dan soporte al aprendizaje y donde la acumulatividad y diversidad de los procesos son facetas primordiales a tener en cuenta.

Los postulados de este enfoque implican cambios notables en el modo de plantearse las actuaciones de la política de innovación tecnológica. Así, puede mencionarse, en primer lugar, el protagonismo que ese enfoque concede a las empresas en tanto que éstas son los agentes encargados de introducir en el mercado los nuevos productos y procesos y deben ser, por tanto, objeto principal de las acciones de la política.

En segundo lugar, se insiste desde este enfoque en que las tecnologías y la innovación asociada no son meramente «información», sino que son «conocimiento», en el que la experiencia acumulada es fundamental para el aprendizaje. En tanto que conocimiento, incorporan elementos explícitos —públicamente disponibles— y tácitos —incorporados en personas y organizaciones—; en ambos casos, la acumulatividad es consustancial. Las fuentes para acceder a ese conocimiento son muy variadas, incluyendo las generadas por la propia empresa y las «externas» o relacionadas con el «sistema de innovación» en el que aquella se halla inmersa. En consecuencia, en el análisis del cambio tecnológico y de las políticas para su estímulo debe primar la idea de la diversidad frente a la de los modelos generales.

Por lo que se refiere a la evolución reciente en la economía española, no es fácil resumir lo que ha sido un periodo de fuertes transformaciones macro y microeconómicas. Sin embargo, y a modo de apretada síntesis podemos referirnos a las siguientes «hechos estilizados»: el incremento general de los recursos, la significativa continuidad del papel de la tecnología importada, el avance en la capacidad de absorción de las tecnologías, la creciente internacionalización del proceso y la proliferación de las políticas de fomento de la innovación.

---

(3) Para el lector poco familiarizado con este enfoque son recomendables los siguientes textos: Nelson y Winter (1982), Dosi y otros (1988), Stoneman (1995), Dodgson y Rothwell (1994), Freeman y Soete (1998), Pavitt (2000), Antonelli y De Lisa (2000). Versiones propias más reducidas pueden encontrarse en Molero (1995) y Molero (2001).



El incremento de recursos humanos y económicos se produce principalmente en la segunda mitad de la década de 1980, coincidiendo con la entrada en la Comunidad Europea y con la puesta en marcha de la «Ley de la Ciencia» de 1986 y los planes nacionales de I+D a partir de 1988. Este aumento de recursos permitió una cierta convergencia con los parámetros de los países europeos, aunque claramente insuficiente, pues apenas logró situarse en valores que se aproximaban al 50% del esfuerzo medio de esas economías. Posteriormente, durante la mayor parte de la década de 1990, se asiste a un estancamiento que se manifiesta en que a finales de esos años, los datos macroeconómicos escasamente recuperan los estándares alcanzados diez años antes; el distanciamiento con la media de los países europeos se mantiene debido al retroceso de países clave como Alemania, pero se incrementa respecto a los más dinámicos, como los que forman el grupo de países nórdicos.

El papel protagonista que durante muchas décadas anteriores había jugado la tecnología extranjera fue la consecuencia inevitable de la escasez de recursos tecnológicos propios y se canalizó a través de la compra directa de tecnología, la adquisición de equipos y maquinaria y las inversiones directas exteriores. El hecho relevante es que el incremento de recursos a que nos hemos referido no supuso un cambio drástico en esa situación, pues las tres modalidades de compra de tecnología extranjera siguieron avanzando a fuerte ritmo entre 1985 y los primeros años de los noventa. Lo que sí se produce en estos años es que la capacidad interna para asimilar los conocimientos tecnológicos y usarlos eficientemente aumentó conjuntamente con la mayor disponibilidad de recursos y capital humano domésticos.

Ese nuevo *rol* de la tecnología importada se produce al mismo tiempo que se desarrolla una fuerte tendencia a la internacionalización del cambio tecnológico. Se trata de un fenómeno distinto del que durante décadas pasadas se analizaba bajo la forma de «transferencia de tecnología» y que tenía como núcleo fundamental la transferencia entre países de distinto nivel de desarrollo. A lo que hoy asistimos es al hecho de que la creación de tecnología se lleva a cabo sobre bases crecientemente multinacionales y a un nuevo papel, absolutamente protagonista, de las empresas multinacionales (Molero, 1995; Comisión Europea, 1998 y Molero, 2000).

Sobre estas nuevas bases la economía española ha experimentado algunos cambios significativos. Uno muy importante tiene que ver con el aumento de los ratios de tecnología extranjera *versus* nacional comentada

anteriormente, así como la mayor salida de tecnología española a los mercados exteriores, aunque este extremo en proporciones muy inferiores al anterior. Pero, además, debe tenerse en cuenta la creciente implicación de empresas españolas en redes internacionales producto de varios factores entre los que deben destacarse la participación en programas europeos y la vinculación de filiales españolas a grupos multinacionales. Asimismo se ha asistido a un reforzamiento del papel de las empresas multinacionales en nuestro país en el proceso de creación de tecnología, mientras que la capacidad de nuestras empresas de desarrollar nuevas capacidades tecnológicas en el exterior sigue siendo muy limitada.

La proliferación de instrumentos de política para el fomento de la innovación tecnológica ha sido muy notable en los últimos 20 años. Primero, por la puesta en marcha de la Ley de 1996 y los planes nacionales; segundo, debido al desarrollo de las competencias de las comunidades autónomas y, tercero, por la incorporación a los programas europeos, especialmente los vinculados al programa marco. El hecho es que en los últimos años no es precisamente la ausencia de instrumentos de acción lo que caracteriza la situación española sino más bien lo contrario; otra cosa es su nivel de eficacia y el volumen de recursos involucrados. En gran medida producto de esa proliferación ha sido la existencia de una cierta confusión entre los agentes empresariales que detectan importantes niveles de descoordinación, cuando no de contradicción, entre los distintos programas, agencias, responsables, etc.

En apretada síntesis, los cambios en el campo de la innovación tecnológica han sido muy considerables, en consonancia con lo que ha acontecido en la economía española en las últimas décadas, generando igualmente modificaciones positivas que coexisten con carencias estructurales persistentes y que pueden hipotecar la capacidad de adaptarse a las cambiantes condiciones que rigen la competencia a nivel internacional. Por ello, conocer con algún detalle las bases microeconómicas que están detrás de las tendencias resumidas es un paso necesario para que las decisiones políticas tengan una mayor eficacia.

### **La innovación tecnológica comparada de las empresas industriales españolas**

En este epígrafe se van a exponer los resultados más generales que pueden extraerse de los datos contenidos en el CIS 2. La forma en la que dicha información se ha sistematizado pretende destacar los rasgos más

sobresalientes del proceso innovador de las empresas industriales españolas siguiendo la estructura del CIS y efectuar en todos los casos una comparación con los promedios obtenidos por las empresas de la Unión Europea (4). Los respectivos cuadros ofrecen una desagregación en los sectores manufactureros que incluye el referido CIS, sin embargo, en esta aproximación se tendrán en cuenta principalmente los promedios totales, haciendo solamente algunos comentarios para destacar las diferencias sectoriales más sobresalientes.

En consonancia con el protagonismo que las empresas tienen en el cambio tecnológico, el primer dato a tener en cuenta es el del número de aquellas que se declaran innovadoras dentro del colectivo encuestado y cual es su peso en el conjunto de organizaciones empresariales; este simple dato es necesario para conocer la «densidad» de empresas innovadoras, ya que un grado mínimo en esa «densidad» es condición necesaria para poder aplicar determinadas medidas de política. El cuadro 1 muestra esa «densidad» —medida por la proporción de empresas que innovan respecto al total— e indica que en el caso español es muy inferior, pues sólo un 29% de empresas entran en aquella categoría, frente al 54% de promedio en la Unión Europea. Aunque con las lógicas diferencias, esta situación afecta prácticamente en todos los sectores, con independencia del nivel tecnológico de los mismos; es más, es particularmente significativa la escasez de empresas innovadoras en la mayoría de los sectores que suelen vincularse a actividades tradicionales como la industria alimentaria, textil y cuero o madera, pasta de papel, papel y edición. El único sector donde la posición española es comparable a la Unión Europea es electricidad, gas y agua, reflejando quizás la mayor especialización relativa de la industria española en esas actividades (Buesa y Molero, 1998).

Pero el número de agentes innovadores debe ser cualificado por la magnitud del esfuerzo que llevan a cabo. El cuadro 2, p. 92, ofrece dos datos en esa dirección; por una parte, los gastos en innovación sobre el volumen de ventas del conjunto de empresas y, por otra, la misma ratio pero referida solamente a las empresas que tienen actividades innovadoras declaradas. Al igual que en el caso anterior, destaca la posición claramente retrasada de las empresas españolas: su nivel de esfuerzo se sitúa en torno a la mitad del que hacen las empresas de la Unión Europea, siendo muy coincidentes los dos indicadores utilizados. Si detallamos por

---

(4) Es importante hacer notar que el CIS 2 sólo incluye empresas de más de 20 empleados. Por el contrario, la encuesta española correspondiente incluye la totalidad de empresas, haciendo imposible una comparación directa entre ambas fuentes.

**Cuadro 1.** Las empresas innovadoras en España y la Unión Europea, año 1996\*

Conceptos	Empresas innovadoras (porcentaje)		Empresas con innovación de producto (porcentaje)		Empresas con innovación de proceso (porcentaje)	
	España	Unión Europea	España	Unión Europea	España	Unión Europea
<i>TOTAL INDUSTRIA</i>	29	54	24	44	25	39
Industria alimentaria	22	52	17	42	19	38
Industria textil y cuero	18	36	13	27	17	27
Madera, pasta de papel, papel y edición	21	47	17	33	19	37
Carbón, petróleo, combustible nuclear y química	62	72	58	66	48	50
Caucho, plástico y otros productos de minerales no metálicos	31	53	25	45	26	39
Metales básicos y productos metálicos	25	51	17	39	23	39
Maquinaria y equipo (no clasificado)	46	70	40	64	34	43
Equipo eléctrico y óptico	55	72	49	64	47	50
Material de transporte	46	59	21	41	40	41
Otras manufacturas	23	52	41	51	19	37
Electricidad, gas y agua	37	38	n/d	n/d	n/d	n/d

\* Sólo empresas con más de 20 empleados.

Fuente: Second Community Innovation Survey (CIS 2).

sectores, llegamos a una conclusión interesante al observar que el mayor distanciamiento se produce en los sectores con mayor contenido tecnológico (verbigracia: química, maquinaria y equipo, equipo eléctrico y óptico y material de transporte). Por el contrario, en los sectores más tradicionales, la posición española está más próxima (verbigracia: industria alimentaria o textil y cuero). Por tanto, combinando estos datos con los del cuadro 1, se dibuja un panorama nada favorable: existen menos empresas innovadoras y éstas realizan un esfuerzo muy inferior al de otras firmas europeas. Por sectores el dibujo es complejo: de un lado, se observa que la mayor proporción de empresas innovadoras se manifiesta en los sectores tecnológicamente avanzadas y, de otro, esa mayor «densidad» no está acompañada por un esfuerzo empresarial correlativamente más importante.

**Cuadro 2.** Las empresas innovadoras en España y la Unión Europea, año 1996\*

Conceptos	Gastos en innovación/ventas total empresas (porcentaje)		Gastos en innovación sobre ventas empresas innovadoras (porcentaje)	
	España	Unión Europea	España	Unión Europea
<i>TOTAL INDUSTRIA</i>	1,8	3,7	2,8	4,5
Industria alimentaria	0,9	1,8	1,8	2,1
Industria textil y cuero	1,0	1,6	2,6	3,1
Madera, pasta de papel, papel y edición	1,4	2,5	3,5	4,1
Carbón, petróleo, combustible nuclear y química	1,8	4,0	2,1	4,7
Caucho, plástico y otros productos de minerales no metálicos	1,5	2,7	2,8	3,5
Metales básicos y productos metálicos	1,4	2,1	2,4	2,7
Maquinaria y equipo (no clasificado)	2,0	3,7	2,9	4,2
Equipo eléctrico y óptico	3,8	8,2	5,0	8,9
Material de transporte	2,9	4,3	3,4	4,6
Otras manufacturas	1,7	2,3	3,3	3,5
Electricidad, gas y agua	0,8	0,8	0,9	1,1

\* Sólo empresas con más de 20 empleados.

Fuente: Second Community Innovation Survey (CIS 2).

Una vez conocida la posición cuantitativa global, es necesario introducirse en los aspectos cualitativos que caracterizan la forma en que las empresas desempeñan las tareas innovadoras, en correspondencia con la insistencia del enfoque evolucionista respecto a la variedad de vías por las que se produce aquel aprendizaje. Uno de los primeros temas a considerar se refiere a la importancia que tienen los métodos de aprendizaje tecnológico más formalizados frente a los métodos más informales. A este respecto se considera muy significativo conocer en que medida las empresas sistematizan parte de aquellas actividades como tareas de I+D tecnológico, porque su desarrollo supone un salto cualitativo en la cultura empresarial y en la importancia estratégica que se concede a la innovación.

En el cuadro 3 se ofrecen los datos referidos a los porcentajes de empresas innovadoras que tienen dichas actividades. Las últimas columnas confirman que es la industria española donde más empresas declaran no llevar a cabo aquel tipo de actividades, lo que sumado a la escasa «densidad» de empresas innovadoras, reflejan una realidad no muy positiva: poco más del 13% de empresas industriales con más de 20 empleados llevan a cabo actividades innovadoras que incluyen algún tipo de I+D. Desde otra perspectiva, menos del 10% de esas empresas hacen innovación que incluye I+D de forma sistemática. En la Unión Europea los porcentajes se duplican alcanzando casi el 20%. Por sectores la situación está muy extendida, aunque cabe señalar que en algunos de los calificados como tradicionales, los porcentajes españoles de empresas sin I+D son extraordinariamente elevados.

**Cuadro 3.** Las empresas innovadoras en España y la Unión Europea, año 1996\*

Conceptos	Empresas con I+D constante (porcentaje)		Empresas con I+D ocasional (porcentaje)		Empresas sin I+D (porcentaje)	
	España	Unión Europea	España	Unión Europea	España	Unión Europea
<i>TOTAL INDUSTRIA</i>	32	36	22	32	46	32
Industria alimentaria	23	29	30	35	46	36
Industria textil y cuero	17	27	17	27	65	47
Madera, pasta de papel, papel y edición	13	21	15	27	73	53
Carbón, petróleo, combustible nuclear y química	57	62	23	23	20	15
Caucho, plástico y otros productos de minerales no metálicos	21	35	20	39	59	26
Metales básicos y productos metálicos	26	26	29	36	45	36
Maquinaria y equipo (no clasificado)	44	46	31	35	25	19
Equipo eléctrico y óptico	56	58	12	25	31	16
Material de transporte	48	42	18	27	34	31
Otras manufacturas	20	25	14	40	66	36
Electricidad, gas y agua	42	14	23	26	36	60

\* Sólo empresas con más de 20 empleados.

Fuente: Second Community Innovation Survey (CIS 2).

Otra característica importante de la organización de las actividades innovadoras puede deducirse del destino dado a los recursos empleados. Se trata de profundizar en la importancia de distintas fuentes del conocimiento tecnológico a partir de la distribución de recursos económicos entre aquéllas.

Los datos expuestos en el cuadro 4 recogen información significativa a este respecto y no muestran que, en consonancia con lo expuesto anteriormente, las empresas españolas destacan entre las europeas por la menor importancia relativa que tienen los fondos destinados a hacer I+D en el seno de la propia empresa; mientras que en la Unión Europea en promedio más de la mitad de los recursos de innovación se destinan a ese tipo de tareas, en España sólo alcanza el 37%. En general, esa diferencia no es tan apreciable en los sectores de la industria tradicional, donde las

**Cuadro 4.** Las empresas innovadoras en España y la Unión Europea, año 1996\*

Conceptos	Intramuros total gastos innovación (porcentaje I+D)		Maquinaria y equipos total gastos innovación (porcentaje)		Diseño total gastos innovación (porcentaje)	
	España	Unión Europea	España	Unión Europea	España	Unión Europea
<i>TOTAL INDUSTRIA</i>	37	53	12	6	32	22
Industria alimentaria	19	22	7	8	53	47
Industria textil y cuero	28	24	8	5	48	57
Madera, pasta de papel, papel y edición	10	10	2	7	75	67
Carbón, petróleo, combustible nuclear y química	43	56	13	6	24	15
Caucho, plástico y otros productos de minerales no metálicos	31	34	8	5	52	45
Metales básicos y productos metálicos	25	23	9	13	60	34
Maquinaria y equipo (no clasificado)	60	51	10	7	19	17
Equipo eléctrico y óptico	58	63	15	6	11	13
Material de transporte	35	71	16	5	18	10
Otras manufacturas	24	27	14	12	42	43
Electricidad, gas y agua	18	32	16	2	46	44

\* Sólo empresas con más de 20 empleados.

Fuente: Second Community Innovation Survey (CIS 2).

cifras son bastante parejas; por el contrario, es en los sectores tecnológicamente más complejos donde el diferencial es mayor, alcanzando su máxima expresión en material de transporte.

Radicalmente distinto es el panorama con respecto a tareas más simples, en este caso, los porcentajes de gastos asignados son más elevados en España. Destacan particularmente los casos de compra de maquinaria y equipos y diseño que conjuntamente representan el 44% de los gastos de innovación de las empresas españolas frente al 28% de las de la Unión Europea. Por sectores la situación sólo es claramente distinta en los casos de la industria textil y cuero, maquinaria y equipo y otras manufacturas, en los que la situación es similar a la que impera en los países de la Unión Europea.

La creciente complejidad del cambio tecnológico implica, entre otros aspectos, la necesidad de combinar fuentes de aprendizaje cada vez más diversas. Entre éstas, las externas a la empresa ocupan un lugar destacado, por lo que la habilidad de la empresa para combinar adecuadamente aquella variedad de fuentes se convierte en uno de sus «activos» sobresalientes. El CIS 2 incluye algunas preguntas que permiten una aproximación al grado en el que las empresas acuden a las fuentes externas dentro de los apartados dedicados a la *cooperación*. Los cuadros 5, 6 y 7, pp. 96, 97 y 98; sintetizan datos que permiten evaluar dos cuestiones de forma simultánea: la primera tiene que ver con el hecho en sí de la cooperación y lo extendida que la misma se halla entre las empresas que innovan. La segunda es de carácter cualitativo, aproximándonos a quienes son los sujetos de esa colaboración.

Respecto al nivel general de la cooperación, los datos muestran una menor actividad de las empresas industriales españolas, afectando al conjunto de los sectores por igual. En cualquier caso, debe afirmarse que estamos ante un aspecto de especial debilidad en el entramado empresarial europeo, por cuanto en la media de los otros países tampoco la cooperación aparece como una actividad muy extendida.

Entrando en la valoración de los sujetos de la cooperación, en términos generales se aprecia que la cooperación de las firmas en España se hace más frecuentemente con centros públicos, universidades e institutos de investigación y menos habitualmente con otras empresas. Esta mayor cooperación con universidades y centros públicos no se produce en las empresas de todos los sectores, sino que es consecuencia fundamentalmente de la mayor actividad de ese tipo desarrollada por empresas de la



**Cuadro 5.** Las empresas innovadoras en España y la Unión Europea, año 1996\*

Conceptos	Empresas innovadoras que cooperan (porcentaje)		Empresas que cooperan con otras empresas de grupo (porcentaje)		Empresas que cooperan con firmas competidoras (porcentaje)	
	España	Unión Europea	España	Unión Europea	España	Unión Europea
<i>TOTAL INDUSTRIA</i>	21	27	63	59	9	18
Industria alimentaria	20	26	51	43	3	18
Industria textil y cuero	11	14	65	46	9	15
Madera, pasta de papel, papel y edición	13	19	51	60	2	12
Carbón, petróleo, combustible nuclear y química	37	40	68	74	11	20
Caucho, plástico y otros productos de minerales no metálicos	15	30	81	61	13	19
Metales básicos y productos metálicos	22	25	58	52	14	24
Maquinaria y equipo (no clasificado)	23	29	43	59	1	14
Equipo eléctrico y óptico	30	37	67	63	15	21
Material de transporte	31	35	65	62	8	23
Otras manufacturas	6	17	57	34	5	5
Electricidad, gas y agua	52	33	89	67	10	19

\* Sólo empresas con más de 20 empleados.

Fuente: Second Community Innovation Survey (CIS 2).

industria alimentaria, química, caucho y plásticos, electricidad, gas y agua y otras manufacturas. En el caso de la cooperación con institutos de investigación, los mayores porcentajes españoles se revelan en la gran mayoría de sectores de la encuesta.

Como se señalaba, el panorama es el inverso en lo referente a la cooperación con las empresas, aunque con un matiz de singular interés. En efecto, al desglosar el tipo de empresas con las que se lleva a cabo la cooperación destaca el hecho de que las empresas españolas sólo superan a sus correspondientes europeas cuando se trata de cooperar con empresas que pertenecen al mismo grupo. A pesar de que las diferencias no son muy destacables, refleja que el ámbito de la cooperación es más

reducido, lo que puede estar en relación con el menor tamaño que tienen las empresas españolas respecto a las de los países de la Unión Europea. El que esa mayor cooperación con empresas del grupo no se traduzca en una mayor cooperación general de las empresas tiene que ver con la existencia de menos grupos empresariales en la industria española (Buesa y Molero, 1998).

En todas las demás formas de cooperar con firmas la posición española es inferior. Particularmente poco extendida se manifiesta la cooperación con empresas competidoras del mismo sector. Este aspecto tiene un interés particular por cuanto ese tipo de cooperación entra de lleno en lo que

**Cuadro 6.** Las empresas innovadoras en España y la Unión Europea, año 1996\*

Conceptos	Empresas que cooperan con universidades u otras organizaciones de enseñanza superior (porcentaje)		Empresas que cooperan con instituto de investigación (porcentaje)	
	España	Unión Europea	España	Unión Europea
<i>TOTAL INDUSTRIA</i>	40	37	40	32
Industria alimentaria	56	37	38	38
Industria textil y cuero	19	25	38	35
Madera, pasta de papel, papel y edición	10	31	21	20
Carbón, petróleo, combustible nuclear y química	10	53	51	34
Caucho, plástico y otros productos de minerales no metálicos	60	28	36	26
Metales básicos y productos metálicos	33	35	42	35
Maquinaria y equipo (no clasificado)	31	38	38	33
Equipo eléctrico y óptico	35	46	40	34
Material de transporte	43	44	27	27
Otras manufacturas	29	10	48	29
Electricidad, gas y agua	87	62	48	33

\* Sólo empresas con más de 20 empleados.

Fuente: Second Community Innovation Survey (CIS 2).

**Cuadro 7. Las empresas innovadoras en España y la Unión Europea, año 1996\***

Conceptos	Empresas que cooperan con socio nacional (porcentaje)		Empresas que cooperan con socio de la Unión Europea (porcentaje)		Empresas que cooperan con socios de Estados Unidos (porcentaje)		Empresas que cooperan con socios de Japón (porcentaje)	
	España	Unión Europea	España	Unión Europea	España	Unión Europea	España	Unión Europea
<i>TOTAL INDUSTRIA</i>	87	84	9	25	2	9	58	50
Industria alimentaria	92	93	8	15	2	4	53	35
Industria textil y cuero	92	78	7	14	–	5	67	56
Madera, pasta de papel, papel y edición	92	82	9	16	–	7	38	37
Carbón, petróleo, combustible nuclear y química	88	83	16	42	1	18	69	74
Caucho, plástico y otros productos de minerales no metálicos	78	86	7	21	1	7	69	49
Metales básicos y productos metálicos	89	86	3	27	1	7	46	45
Maquinaria y equipo (no clasificado)	88	84	3	22	3	10	45	49
Equipo eléctrico y óptico	90	81	13	35	4	15	58	58
Material de transporte	83	85	10	29	10	11	70	57
Otras manufacturas	84	88	5	14	–	2	45	49
Electricidad, gas y agua	97	98	24	13	3	5	52	28

\* Sólo empresas con más de 20 empleados.

Fuente: Second Community Innovation Survey (CIS 2).

son las alianzas estratégicas de las empresas, cuyo dinamismo es una característica que sobresale en el actual proceso de internacionalización del cambio tecnológico (Narula, 1999; Archibugi y Lammarino, 2000).

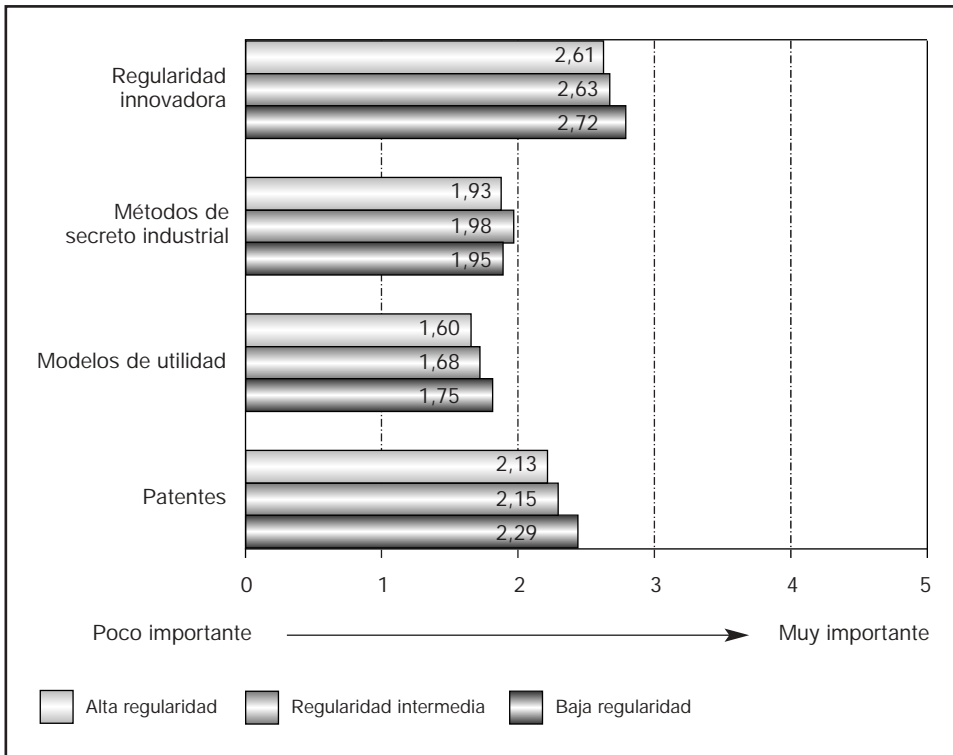
La colaboración con clientes o usuarios y proveedores para llevar a cabo actividades de innovación se ha subrayado por la literatura como un factor importante dentro de la importancia que se concede al sistema (Freeman, 1995 y Lundvall, 1992). En ambos casos la posición española es significativamente inferior a la predominante en la Unión Europea. Por sectores, la

escasa cooperación está muy extendida, aunque hay dos excepciones que merecen destacarse: la industria textil y cuero y la de madera, pasta de papel y edición. En el caso de la aportación de los proveedores, es singular la posición que los mismos ocupan con respecto a las empresas españolas de ambos sectores, hasta el punto de que una mayoría de las empresas que cooperan lo hacen precisamente con proveedores.

Otro rasgo revelador del menor alcance de las actividades de cooperación en España se refiere al lugar de residencia del socio. La tendencia, según se muestra en el cuadro 7, es a que los de las empresas españolas son con mayor frecuencia otras empresas españolas o establecidas en otros países de la Unión Europea, siendo menos habitual la cooperación con firmas de las otras áreas desarrolladas Estados Unidos y Japón. Este hecho, una vez más, puede estar relacionado con el menor tamaño de las empresas españolas, pero, en cualquier caso, manifiesta una agudización de un rasgo extendido entre empresas de la Unión Europea, como es el excesivo «eurocentrismo» de su estrategia colaboradora.

Un aspecto complementario significativo tiene que ver con la escasa importancia que se concede a la apropiación de los frutos de las innovaciones como parte de la estrategia definida de las empresas innovadoras españolas. En efecto, diversos estudios realizados anteriormente (Buesa y Molero, 1996 y 1998) permiten afirmar que, en términos generales, las empresas innovadoras españolas conceden muy poca relevancia a la necesidad de garantizarse la apropiación de los resultados de sus desarrollos tecnológicos. Esta actitud es reflejo, probablemente, de una escasa cultura innovadora que, entre otras cosas, se manifiesta en el predominio de innovaciones de carácter menor, como las mejoras relativas de productos o procesos o la difusión parcial de cambios técnicos (Buesa y Molero, 1998).

La figura 1, p. 100, muestra los resultados más representativos de una investigación reciente y permite, además, comprobar que la forma más apreciada por las empresas para proteger sus innovaciones se relaciona con la capacidad de mantener el liderazgo frente a sus competidores a través de una innovación incesante, antes que mediante la puesta en práctica de medidas de tipo legal (patentes, modelos de utilidad) o del mantenimiento del secreto. Estos resultados relativos son coincidentes con lo que la literatura internacional señala a este respecto pero el escaso valor absoluto que se confiere a la protección de las tecnologías puede suponer un lastre importante en un momento de internacionalización de las tecnologías.



**Figura 1.** Valoración de los procedimientos de apropiación de la tecnología. Índice para cada tipo de empresa según su regularidad en la realización de proyectos I+D.

Para finalizar este apartado una pregunta que enlaza con los primeros aspectos en él analizados. ¿En que medida la actividad innovadora cuyos procedimientos se han sintetizado conduce a una disponibilidad generalizada de nuevas tecnologías en el aparato productivo español? La reciente encuesta española sobre innovación referida al año 1998 permite tener una visión de conjunto sobre tan notable asunto en el interior de la industria. En el cuadro 8 se han recogido algunos datos que permiten afirmar que la escasa actividad innovadora mostrados anteriormente se proyecta sobre una todavía pobre presencia de nuevas tecnologías. En otras palabras, el esfuerzo que debe realizar esa industria debe incorporar de forma particular la adopción de las nuevas tecnologías, ante la eventualidad de que el relativo esfuerzo de convergencia operado en los años ochenta se quede desfasado en la nueva etapa de aceleración del cambio tecnológico.

**Cuadro 8.** *El retraso en la adopción de nuevas tecnologías.*

Nuevas tecnologías en la fabricación (selección)	Empresas industriales que las utilizan (porcentaje)
Diseño asistido por ordenador y/o ingeniería asistida por ordenador	8,7
Máquinas autónomas ordenador para trabajar en la red/control numérico de computador	9,1
Células o sistemas de fabricación flexible (FMC/FMS)	2,2
Sistemas automáticos de almacenaje y recuperación	1,8
Ordenadores de red de área local para información técnica	9,0
Ordenadores de red de área local para utilización en fábrica	7,2
Internet/correo electrónico	12,7
Controladores lógicos programables	3,0
Sistema «Justo Tiempo» ( <i>Just in Time</i> )	2,7

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, 2000.

### **Diversidad de los patrones de innovación y eficiencia económica**

El análisis hasta aquí efectuado ha mostrado los rasgos principales de la situación de la innovación española. Al mismo tiempo se han podido apreciar algunas diferencias considerables en el comportamiento sectorial, lo que apunta a una característica de gran relieve, tanto teórico como práctico: la diversidad existente en el tejido productivo español, dentro de una posición global que es poco favorable a la innovación. En otros trabajos esa diversidad se ha estudiado principalmente a través de las diferencias sectoriales que se pueden medir con indicadores como las ventajas tecnológicas relativas que detectan la particular situación de un sector en el concierto internacional, respecto a la posición media de la industria española (Molero, 1999; Buesa y Molero, 2001). No obstante, esa diferenciación de las conductas se manifiesta también en el plano micro, como fruto de estrategias empresariales que, más allá de los condicionantes nacionales y sectoriales, tienen algún espacio para una actuación diferente dentro de su trayectoria particular.

Basándonos en trabajos recientes (Fonfría, 1999; Molero y Buesa, 1999), es posible exponer dos elementos destacados de esa diversidad. En primer lugar, la existencia de patrones distintos, consistentes y susceptibles de ser identificados y, en segundo lugar, la desigual incidencia que cada patrón de innovación tiene sobre la capacidad competitiva.

Con respecto a lo primero, el cuadro 9, muestra el conjunto de patrones de innovación que se han estimado partiendo de las repuestas individuales de las empresas a preguntas sobre su actividad innovadora (5). El método empleado para alcanzar este resultado parte de agrupar los resultados particulares de las empresas innovadoras en los principales factores que explican la varianza inter-empresarial y, posteriormente, aplicar un análisis cluster a los factores disponibles. Se llega así a poder identificar cinco modelos diferentes más otro que es mezcla de varios de ellos; los nombres asignados sólo pretenden resaltar la importancia que en esa clasificación tienen el tamaño de las empresas, la presencia de determinados grupos empresariales y la intensidad con la que se lleva a cabo la actividad de innovación tecnológica. Los modelos encontrados indican que, efectivamente, las conductas son sustancialmente distintas, al tiempo que existen similitudes relativas que permiten analizar de forma sistemática esa diversidad.

Destaca entre los patrones el que recoge grandes empresas de mayoría de capital nacional. Su perfil sobresale positivamente en la mayoría de los factores lo que nos sitúa ante el grupo de empresas que más intensamente concreta su compromiso con la innovación; además, el origen de las tecnologías empleadas es principalmente su propio esfuerzo. A su lado aparece otro colectivo comparable en tamaño y edad pero separado por la pertenencia al mismo de empresas con capitales públicos o extranjeros; el contraste es notable en buena parte de los factores de la innovación y en la misma procedencia de las tecnologías que, en este caso, indican una importante presencia de fuentes externas a la empresa, principalmente en los que se refiere a las tecnologías de producto.

Las empresas de tamaño mediano forman un grupo relevante y con perfiles muy positivo en un conjunto de factores. Así, son bastante activas en el uso de las patentes como vía de apropiación de sus resultados y mantenimiento de las posiciones competitivas y fundamentan fuertemente sus actividades tecnológicas en elementos del conocimiento de carácter tácito.

---

(5) La encuesta de base utilizada es la realizada en el año 1995 sobre las empresas que durante 10 años se habían beneficiado de ayudas por parte del CDTI para el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica. La metodología y resultados básicos del trabajo pueden encontrarse en Molero, Buesa y otros (1998). Aunque de origen distinto, la metodología de la encuesta tiene grandes similitudes con al Encuesta Española de Innovación, por lo que sus resultados son comparables, al menos en sus rasgos más sobresalientes. Debe recalarse que la tipología expuesta se refiere al colectivo de empresas cuya actividad innovadora está contrastada y que, por tanto, no debe emplearse para extraer conclusiones sobre las diferencias entre firmas que innovan y que no lo hacen.

**Cuadro 9. Caracterización de los patrones tecnológicos.**

Características	Factores	Grandes empresas nacionales altamente innovadoras	Grandes empresas con grupos multinacionales y empresas públicas	Empresas medianas de capital independiente nacional	Pequeñas empresas de alta intensidad innovadora	Pequeñas empresas de baja intensidad innovadora	Grupo mixto
Datos estructurales	Tamaño/ edad	Grandes año 1959	Grandes año 1960	Medianas año 1969	Pequeñas año 1968	Pequeñas año 1973	Medianas grandes año 1967
	Grupo	2	2, 3 y 4	1	1	1	1, 2 y 4
Protección/ apropiación de resultados	Patentes	Muy alta	Baja	Muy alta	Media	Baja	Media
	Diseño	Muy alta	Media	Baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
	Imagen corporación	Alta	Media	Alta	Media	Baja	Baja
	Estrategia interna	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja	Muy alta

1. No pertenece a grupo empresarial. 2. Pertenecer a grupo de capital nacional. 3. Pertenecer a grupo de capital multinacional. 4. Empresa pública.



Cuadro 9. (Continuación).

Características	Factores	Grandes empresas nacionales altamente innovadoras	Grandes empresas con grupos multinacionales y empresas públicas	Empresas medianas de capital independiente nacional	Pequeñas empresas de alta intensidad innovadora	Pequeñas empresas de baja intensidad innovadora	Grupo mixto
Bases del conocimiento	Táctito	Muy alta	Baja	Muy alta	Baja	Muy baja	Media
	Explecitivo formal	Alta	Muy baja	Muy baja	Alta	Muy baja	Alta
Colaboración	No empresarial	Media	Muy baja	Baja	Alta	Muy baja	Alta
	Empresarial	Media	Alta	Muy baja	Media	Muy baja	Alta
Orientación y objetivos	Procesos objetivo	Alta	Alta	Media	Alta	Muy baja	Baja
	Productos objetivo	Baja	Muy alta	Media	Media	Muy baja	Alta
	Introducción innovación	Alta	Muy baja	Alta	Media	Muy baja	Alta

**Cuadro 9. (Continuación).**

Características	Factores	Grandes empresas nacionales altamente innovadoras	Grandes empresas con grupos multinacionales y empresas públicas	Empresas medianas de capital independiente nacional	Pequeñas empresas de alta intensidad innovadora	Pequeñas empresas de baja intensidad innovadora	Grupo mixto
Esfuerzo innovador	En I+D	Muy alta	Baja	Media	Muy baja	Muy baja	Media
	En otras actividades	Alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy alta
Origen de las tecnologías	De proceso	Muy alta propio	Propio adquirido	Alta propio	Alta propio	Alta propio	Alta propio
	De producto	Alta propio	Alta adquirido	Alta propio	Alta propio	Propio adquirido	Alta propio

Fuente: Fonfría, 1998.

to, es decir, donde la experiencia propia es fuente insustituible. Este relativo buen comportamiento de las empresas medianas, refrenda otros resultados generales acerca del buen perfil de las mismas en su desempeño económico (Buesa y Molero, 1998) (6).

El grupo mixto se posiciona en un punto intermedio de los dos anteriores y reúne empresas con una actividad innovadora bastante intensa, de perfiles altos en la mayoría de los factores que sirven para explicar la actividad empresarial.

Las empresas más pequeñas muestran una polarización interesante en dos grupos. De una parte, aquellas que muestran un perfil innovador bastante intenso, con niveles de esfuerzo destacables; su peor comportamiento se refiere a la apropiación de los resultados, lo que es congruente con su dimensión. A su lado, otras empresas igualmente pequeñas pero que destacan por unos resultados por debajo de la media general en casi todos los factores; respecto al origen de la tecnología son, junto a las grandes con capitales públicos y extranjeros, las que más activas se muestran en incorporar tecnologías ajenas a la misma actividad empresarial.

Constatada la existencia de formas diferentes de desarrollar la innovación, se trata ahora de reflexionar sobre la posible relación con la eficiencia económica. Para ello, se han utilizado algunos indicadores de la competitividad relacionados con la actividad internacional de las empresas innovadoras, en el entendimiento de que una mayor presencia en mercados exteriores revela una capacidad de competir superior.

La misma encuesta utilizada para construir los patrones incluye datos relativos a la actividad exterior de las empresas en las áreas del comercio, la inversión directa y las actividades tecnológicas. Sobre esa base y mediante un análisis de componentes principales se extraen los factores que explican la varianza de las respuestas y los resultados se recogen en la segunda columna del cuadro 10. Esos factores se estiman de cada uno de los patrones de innovación, lo que da lugar a la matriz de signos.

Los resultados son muy explícitos: las empresas incluidas en los patrones que mejores resultados obtenían en cuando a la forma de realizar la innovación también alcanzan valores significativamente elevados en cuando a

---

(6) Como se aprecia en el cuadro, algunas empresas de tamaño mediano se agrupan con algunas grandes en el grupo mixto. Este grupo es, después del de grandes empresas con alto esfuerzo, el colectivo más significativo, pero tiene ese carácter mixto que dificulta una identificación económica más singularizada.

**Cuadro 10.** *Relación de los patrones de innovación con la internacionalización de las empresas.*

Factores de la internacionalización	Factores	Grandes empresas nacionales altamente innovadoras	Grandes empresas con grupos multinacionales y empresas públicas	Empresas medianas de capital independiente nacional	Pequeñas empresas de alta intensidad innovadora	Pequeñas empresas de baja intensidad innovadora	Grupo mixto
Comercio	Exportación	Muy alta	Media	Alta	Media	Baja	Alta
	Propensión exportadora	Alta	Media	Alta	Media	Media	Alta
Inversión directa en el exterior	Realización	Muy alta	Baja	Alta	Baja	Baja	Alta
	Filiales comerciales	Muy alta	Media	Alta	Baja	Baja	Muy alta
	Filiales productivas	Muy alta	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja	Alta
Internacionalización de la actividad tecnológica	Centros I+D en el exterior	Muy alta	Baja	Baja	Media	Baja	Media
	Programas internacionales I+D	Alta	Baja	Baja	Alta	Muy baja	Muy alta

Fuente: Fonfría, 1998.

su capacidad de proyectarse en los mercados internacionales. En efecto, los dos colectivos más activos en la innovación tecnológica, el grupo de grandes empresas nacionales fuertemente innovadoras y el grupo mixto tienen un perfil de competitividad exterior muy elevado, siendo particularmente destacadas sus posiciones respecto a la inversión directa. Por el contrario, tanto el grupo de grandes empresas con representación significativa de empresas extranjeras y públicas como el de pequeñas empresas de menor intensidad innovadora, muestran perfiles de internacionalización claramente por debajo de la media, sobre todo en lo que se refiere a las inversiones directas y la internacionalización de las actividades tecnológicas.

En un lugar intermedio se sitúan las empresas del conjunto de medianas empresas que muestran una actividad internacional destacada en comercio e inversión en filiales de comercialización, aunque su proyección exterior es baja en lo relativo a las inversiones en actividades productivas y tecnológicas. El otro grupo de empresas pequeñas, las que son más activas en la innovación sobresalen por su participación en programas internacionales de I+D como forma de salir al exterior. Su peor perfil lo muestran respecto a las inversiones en el exterior que es particularmente pobre en la creación de filiales de carácter productivo.

### **Conclusiones y reflexiones para la política de fomento de la innovación tecnológica**

El panorama expuesto en las páginas anteriores obliga a discutir, siquiera sea de forma esquemática, algunas recomendaciones que debieran tenerse en cuenta de cara a renovar las políticas para incrementar la actividad innovadora de las empresas españolas. Cuatro son los aspectos a los que se dedicarán las reflexiones siguientes: el aumento del número de agentes innovadores, el incremento de los recursos asignados a esas tareas, el desarrollo de la cooperación y el fomento de la internacionalización de las actividades innovadoras.

Los datos comparativos son muy explícitos al mostrar la principal debilidad del sistema español: la escasez de empresas comprometidas con la actividad innovadora. Ciertamente éste es un elemento estructural complejo porque en él se plasman los resultados de diversas trayectorias históricas cuyas raíces se encuentran en los orígenes de la industrialización de la economía española. Pero, sin entrar a discutir esos aspectos, el hecho cierto es que si no se produce un aumento considerable en el

número de empresas innovadoras será imposible que se dé el salto cualitativo que demandan las nuevas condiciones de competencia en el mercado internacional. No obstante, dicho esto, debe hacerse un esfuerzo por adecuar o cambiar los instrumentos de política cuya misión es el desarrollo de esas actividades. Una mayor atención a cuestiones como los viveros de empresas, el impulso de *spin-offs* desde las universidades, la puesta en marcha de parques científico-tecnológicos, etc., deben hoy ocupar un lugar más sobresaliente frente a políticas tradicionales como las subvenciones o exenciones fiscales a la I+D.

El complemento necesario a que se incremente el número de agentes innovadores es que los mismos dediquen más recursos a la creación de capacidades tecnológicas. También aquí los datos son muy claros, nuestras empresas están notablemente por debajo del nivel de esfuerzo de sus homólogas europeas, lo que arroja dudas adicionales sobre la capacidad de abandonar el segundo plano que en estos momentos ocupamos en el contexto europeo e internacional. El análisis anterior permite hacer algunas precisiones acerca de la orientación de nuevas o más intensas medidas para hacer crecer ese nivel de esfuerzo; se trata de las diferencias existentes entre las mismas empresas innovadoras y las relaciones del nivel de esfuerzo con otros aspectos de la innovación. En efecto, la política debe tener en cuenta la diversidad mostrada y desde esa base diseñar instrumentos de estímulo diferenciados. Así, por ceñirnos a la diferencia fundamental de dedicar los recursos preferentemente a la I+D o a otras tareas innovadoras, es evidente que los estímulos que pueden favorecer una mayor inversión en I+D (verbigracia: incentivos fiscales, créditos especiales, etc.) no necesariamente serán eficaces para que se incrementen recursos para tareas distintas como pueda ser la colaboración con agentes externos.

Un tercer ángulo de la política a considerar es de multiplicar las interacciones de las empresas con otros agentes del sistema de innovación. Los datos han sido también claros al identificar esta carencia esencial de la actividad innovadora, principalmente en lo relativo a la relación con otras empresas, sean competidoras o complementarias. Es una opinión crecientemente extendida que la innovación en red debe jugar un papel cada día más destacado, en la medida que ello permite una mayor capacidad de integrar fuentes de aprendizaje tecnológico difícilmente interiorizables por una sola empresa.

Finalmente, un aspecto singularmente importante y que cruza horizontalmente las anteriores cuestiones; la internacionalización de la innovación

tecnológica. También en este campo se han aportado algunas evidencias que corroboran la escasa internacionalización de las empresas españolas, lo que, de nuevo, remite a una menor capacidad para beneficiarse de los aspectos más positivos de ese fenómeno en el contexto mundial. Tres son las líneas que debieran orientar la política en este sentido. Primero, el fomento de mayor colaboración internacional, tanto de entes públicos como de empresas privadas para así entrar en un proceso de aprendizaje más amplio y diversificado. En segundo lugar, medidas que incrementen la capacidad de atracción de España para que empresas internacionales localicen aquí sus actividades de investigación; en estos momentos, la economía española se encuentra muy lejos de ser un lugar preferente para el destino de ese tipo de actividades. Por último, actuaciones que mejoren la capacidad de absorción o aprendizaje del sistema español de las nuevas formas de crear y difundir tecnologías. Para ello es fundamental no perder de vista la necesidad de interacción positiva entre políticas como las meramente tecnológicas y las financieras, de empleo, etc., que deben orientarse con la idea de crear «círculos virtuosos» en el crecimiento de nuestra eficiencia y capacidad de riqueza.

## Bibliografía

- ANTONELLI, G. y LISO, N. DE (eds.) (1998): *Economics of structural and technological change*. Rotledge, Londres.
- ARCHIBUGI, D. y LAMMARINO, S. (2000): «Innovación y globalización: evidencia e implicaciones», en MOLERO, J.
- BUESA, M. y MOLERO, J. (1992): *Patrones del cambio tecnológico y política industrial. Un estudio de las empresas innovadoras madrileñas*. Editorial Civitas. Madrid.
- (1998): *Economía Industrial de España. Organización, tecnología e internacionalización*. Editorial Civitas. Madrid.
  - (1999): «Innovación y competitividad en Madrid». *Papeles de Economía Española*, Economía de las Comunidades Autónomas. Madrid.
- DODGSON, M. y ROTHWELL, R. (eds.) (1994): *The handbook of industrial innovation*. Edward Elgar, Cheltenham.
- EUROPEAN COMMISSION (1998): *Internationalisation of Research and Technology: trends, issues and implications for science and technology policies in Europe*. Bruselas-Luxemburgo.
- FONFRÍA, A. (1998): «Patrones de innovación e internacionalización de las empresas innovadoras españolas». Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Complutense de Madrid.
- FREEMAN, Ch. (1995): «The national systems of innovation in historical perspective». *Cambridge Journal of Economics* número 19.

- FREEMAN, Ch. y SOETE, L. (1997): *The economics of industrial innovation*. Pinter Publishers. Londres.
- (1997): *The economics of industrial innovation*. Pinter Publishers. Londres.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (2000): *Encuesta de Innovación de las empresas españolas, 1998*. Madrid.
- LUNDVALL, B. A. (1992): *National Systems of Innovation: Towards a theory on Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers. Londres.
- MOLERO, J. (1994): «Desarrollos actuales de la teoría del cambio tecnológico». *Información Comercial Española* número 726.
- *Innovación tecnológica y competitividad en Europa*. Editorial Síntesis. Madrid.
  - (ed.) (1995): *Technological Innovation, Multinational Corporations and New International Competitiveness. The case of intermediate countries*. Harwood Academic Publishers. Reading.
  - (ed.) (2000): *Competencia global y cambio tecnológico. Un desafío para la economía española*. Editorial Pirámide. Madrid.
- MOLERO, J.; BUESA, M. y otros (1997): «La innovación tecnológica en la empresa española. Resultados de la encuesta IAIF-CDTI (1995)». *Documento de trabajo* número 5. Instituto de Análisis Industrial y Financiero. Universidad Complutense.
- MOLERO, J. y otros (1998): «Análisis Metodológico de las Encuestas de Innovación Europea (1992) y Española (1994)». *Informe de Investigación* número 2. Instituto de Análisis Industrial y
- NARULA, R. (1999): «Explaining the growth of strategic R y D alliances by European firms». *Journal of Common Markets Studies* volumen 37, número 4.
- NELSON, R. y WINTER, S. (1982): *An evolutionary theory of economic change*. Harvard University Press, Cambridge.
- PAVITT, K. (1999). *Technology, Management and Systems of innovation*. Edward Elgar, Cheltenham.
- STONEMAN, P. (ed.) (1995): *Handbook of the economics of innovation and technological change*. Balckwell, Oxford.



**SEXTA SESIÓN**

**EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
EN LA HIDRODINÁMICA NAVAL**

## EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN LA HIDRODINÁMICA NAVAL

Por JAIME FERNÁNDEZ PAMPILLÓN

### Introducción

Un barco es una unidad autónoma que además de cumplir las funciones para las que fue proyectado debe diseñarse también para moverse eficientemente en el entorno marino sin auxilio externo. Esto lo diferencia de cualquier otra gran estructura de ingeniería.

La tarea de la ingeniería naval es que el buque cumpla unos requisitos básicos de flotabilidad y estabilidad, estructura adecuada para soportar los esfuerzos de la mar, capacidad de supervivencia y cumplimiento de los requisitos de operación impuestos para desarrollar adecuadamente sus misiones. Entre los requisitos básicos están también las formas del casco y el propulsor que tengan el más alto rendimiento. Ahí entra el aspecto hidrodinámico de conseguir el mejor binomio resistencia del casco al avance y rendimiento propulsivo para alcanzar la velocidad con la menor potencia y por tanto menor consumo de combustible.

Pero tampoco podemos olvidar otras cualidades hidrodinámicas exigibles al barco: minimizar la pérdida de velocidad en olas, no tener movimientos demasiado bruscos y evitar la cubierta húmeda en ciertas condiciones de la mar, lo que se conoce como tener un buen comportamiento en la mar, o capacidad de desarrollar con normalidad sus funciones en la mar.

En esta breve introducción se han mencionado los temas que analizan, experimentan e investigan los canales de experiencias hidrodinámicas:

resistencia al avance, potencia necesaria para mantener una velocidad, propulsores y su interacción con el casco maniobrabilidad, movimiento del buque en olas y supervivencia del buque en la mar. Históricamente la investigación en la hidrodinámica naval avanzó según esa ruta temática a la que hay que agregar en la avanzadilla de la investigación actual las tecnologías CFD (*Computational Fluid Dynamics*), o cálculos hidrodinámicos por ordenador.

Dada lo limitado del tiempo veremos históricamente el itinerario de la investigación fundamentalmente en resistencia, comportamiento del buque en la mar y tecnologías CFD, para terminar con unos ejemplos de algunas de las investigaciones que se van a iniciar en el Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR).

### **Resistencia al avance**

El cálculo de la resistencia al avance de una carena de un buque no es un tema fácil, por lo que desde los primeros intentos se ha recurrido a la experimentación con modelos y así ya hay testimonios escritos de que Leonardo da Vinci (1452-1519) había realizado ensayos con tres modelos de buques con las mismas dimensiones principales, pero con diferente distribución de las áreas de cuadernas a lo largo de la eslora. En sus conclusiones expresó que el modelo más romo (con la cuaderna de mayor área más a proa) era el que alcanzaba mayor velocidad a la misma potencia, lo que es esperable dada la lentitud a la que presumiblemente se ensayaron los modelos.

También son de destacar los trabajos realizados en la segunda mitad del siglo xvii por el vicealmirante e ingeniero sueco Chapman que aprovechaba la energía de la caída de un peso para arrastrar el modelo flotante, deduciendo que la resistencia al avance es menor cuando el extremo más romo está en la proa, pero también añadió que la situación longitudinal de la cuaderna maestra era función de la velocidad. En Francia contemporáneos suyos (entre ellos D'Alembert, recordemos su paradoja) ensayaron modelos con este dispositivo de gravedad por él empleado, método todavía usado en algunos canales hidrodinámicos pequeños.

Otro notable en este tema fue el coronel inglés Mark Beaufoy, quien no se creyó lo que le explicaba un eminente matemático relativo a que un cono arrastrado por el agua con el vértice delante experimentaba mayor resistencia respecto al movimiento en sentido contrario. Sus conclusiones, tras

unos 10.000 experimentos, no fueron demasiado claras, pues por un lado establecía que la sección de mayor manga debe colocarse a dos quintos de la eslora, pero que en ocasiones podrían obtenerse mejores resultados situándola a mitad de eslora o más hacia popa. Esto indica que desconocía (como otros investigadores coetáneos) la inconsistencia de la extrapolación directa de los resultados del modelo a escala al buque natural.

Ya en el siglo XIX destacan los trabajos hidrodinámicos de Navier, Stokes, Rankine, Reech, lord Kelvin y algunos otros.

Pero el auténtico avance en la experimentación y la razón de ser de los canales se debe al británico William Froude que a mediados de este siglo XIX, realizó unos ensayos con pequeños modelos autopropulsados construidos por él mismo que le condujeron a considerar, para hacer correctamente la extrapolación modelo-buque, la necesidad práctica de separar la resistencia total al avance en dos componentes: uno de naturaleza viscosa y el resto que llamó residual, debiendo calcularse ambos por diferentes procedimientos.

Al enunciar este procedimiento y utilizar un carro remolcador impulsado mecánicamente, puso los cimientos de la experimentación hidrodinámica naval moderna. La división de la resistencia total en estos componentes es básica para el trabajo de los canales de experiencias en su predicción de la potencia requerida por un buque a partir de la de remolque de un modelo suyo a escala.

La «resistencia de fricción» la determinó elaborando una fórmula empírica a partir de los resultados de ensayos de la medición de la resistencia al avance de una serie de placas planas de distintas longitudes (1 a 15 metros) remolcadas a diferentes velocidades, experimentaciones que dieron lugar a la fórmula empírica de Froude:

$$R_f = kSV^n$$

en la que  $k$  es un coeficiente dependiente del material y dimensiones de la placa,  $S$  el área,  $V$  la velocidad y  $n$  un exponente que varía entre 1,8 y 2 según la rugosidad superficial. Las curvas originales fueron modificadas y ampliadas hasta longitudes de más de 350 metros.

Poco después y a partir de los estudios y ensayos de O. Reynolds se demostró la clara dependencia de la resistencia de fricción respecto al número de Reynolds por lo que a partir del año 1923 se levantaron experimentalmente (Experimental Model Basin de Washington) las curvas del coeficiente adimensional de fricción:

$$C_f = \frac{R_f}{\frac{1}{2} \rho S V^2} \quad (\rho \text{ densidad del fluido})$$

que la Asociación Internacional de Canales de Experiencias (ITTC) aconsejó desde el año 1947. De entre estas curvas hay que destacar la definida en la Conferencia de la ITTC en Madrid en 1957, que es la que se utiliza actualmente como línea de fricción para la correlación modelo-buque.

Los valores de  $C_f$  así obtenidos, al estar calculados para superficies perfectamente lisas, son incrementados en un sumando complementario adecuado, que tenga en cuenta la realidad de rugosidades del casco como costuras de la soldadura, pintura, accesorios, etc.

Actualmente, se ha mejorado notablemente la correlación modelo-buque mediante formulaciones tridimensionales que sustituyen este coeficiente de resistencia de fricción por un «factor de forma», invariante con el  $R_n$ , determinado por medios experimentales y que tiene en cuenta la curvatura del casco.

En cuanto al segundo sumando, «resistencia residual», o de formación de olas, Froude lo calculó a partir de su famosa Ley de Comparación o de las velocidades correspondientes que establece que:

«La resistencia residual de dos buques de geometría semejante estará en el cubo de la relación de sus dimensiones lineales cuando la relación de sus velocidades sea la raíz cuadrada de su escala.»

Es decir, que dos carenas geoméricamente semejantes generarán las mismas olas si las velocidades están en la relación de la raíz cuadrada de la escala de las dimensiones principales.

Afortunadamente la «velocidad correspondiente» del modelo a escala es bastante menor que la del buque semejante, lo que constituye para los canales de experiencias una feliz circunstancia favorecedora e incluso decisiva para su existencia al hacer físicamente viable la realización de los ensayos de remolque.

El procedimiento resumido a seguir para el cálculo de la resistencia del buque es el siguiente:

1. En el canal de experiencias se mide mediante ensayo, la resistencia total del modelo al avance  $R_{TM}$ , obteniendo su coeficiente de resistencia total  $C_{TM}$

$$C_{TM} = \frac{R_{TM}}{\frac{1}{2} \rho S V^2}$$

que por exigencias de una correcta extrapolación es preciso como se ha dicho, descomponerlo en viscoso  $C_{VM}$  y de formación de olas  $C_{WM}$ .

2. De los ensayos a baja velocidad y de las curvas de fricción se determina un coeficiente llamado factor de forma  $1+k$ , que tiene en cuenta el aumento de resistencia al pasar de placa plana (2D) al buque (3D) calculándose el coeficiente  $C_{VM}$ :

$$C_{VM} = (1+k) C_{FOM}$$

con lo que podemos calcular el coeficiente por formación de olas del modelo, igual al del buque real:

$$C_{WM} = C_{TM} - C_{VM} = C_{WB}$$

3. Se obtiene el coeficiente de resistencia total del buque,  $C_{TB}$  por la suma de sus dos componentes  $C_{VB}$  o resistencia viscosa obtenido de la curva, y  $C_{WB}$ , de formación de olas que acabamos de obtener:

$$C_{TB} = C_{VB} + C_{WB}$$

La figura 1, p. 120, representa  $C_V = f(R_n)$  y la obtención de estos coeficientes en un caso real.  $C_{TB}$  suele incrementarse en un coeficiente adicional  $C_A$  que tiene en cuenta aspectos específicos, como la rugosidad del casco (estructural, pintura, corrosión, organismos marinos), método de extrapolación utilizado, efectos de escala, etc.

4. Finalmente la resistencia del buque al avance a la velocidad  $V_B$  es:

$$R_{TB} = \frac{1}{2} \rho S_B V_B^2 C_{TB}$$

y su potencia efectiva es  $P_{EB} = R_{TB} V_B / 75$  C.V.

Los valores de  $\rho$  y  $\nu$  deben corregirse para los valores de 15 grados centígrados de temperatura del agua.

## Propulsores

Un buque, por propia definición, debe tener capacidad para desplazarse en el agua, bien navegando en su superficie o debajo de ella como el caso

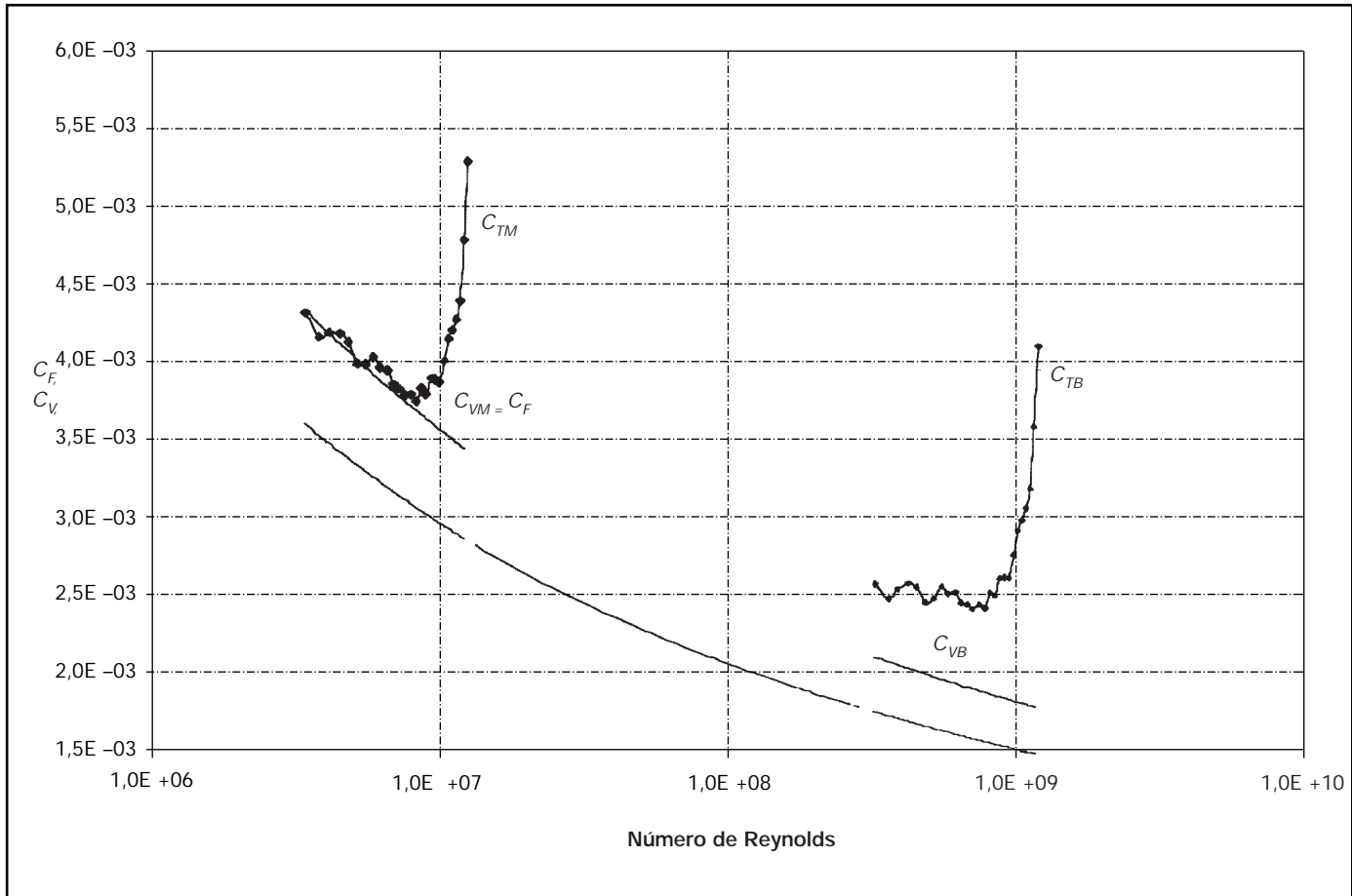


Figura 1. Coeficientes de resistencia modelo-buque.

de un submarino, por lo que hay que dotarlo de un dispositivo propulsor que venza esa resistencia al avance que acabamos de ver.

A lo largo de la historia de la humanidad se han ideado muchos mecanismos de propulsión de un buque: remos, velas, incluso en el siglo xviii el chorro de agua y posteriormente vapor (finales del siglo xviii) las ruedas de paletas cuando aparece la máquina de vapor con su facilidad de obtención de un movimiento de giro. Finalmente la hélice, que no se impuso hasta mediados del siglo xix y que es actualmente el más utilizado

La demanda continua del aumento de velocidad y tamaño de los buques conduce al uso de hélices que desarrollan potencias cada vez más elevadas, aunque ésta se divida entre dos o más ejes. Por ello precisan un cuidadoso diseño para evitar que sufran el indeseable fenómeno de cavitación (vaporización del agua) causante de pérdidas de potencia, vibraciones, ruidos y erosiones en el material.

Pero la optimización de la potencia que la hélice recibe de la máquina exige analizar la interacción hélice-carena ya que el propulsor va a trabajar en un flujo perturbado por la carena y a su vez la hélice va a modificar el flujo agua de salida del casco.

Por ello el proyecto de una hélice es un proceso de cierta complejidad que se inicia generalmente con estudios sobre series sistemáticas de propulsores, pero que necesita de una serie de datos, estimaciones, comprobaciones y pruebas en los canales y túneles de cavitación. En los primeros se realizan ensayos de «propulsor aislado» (determinación de par, empuje y rendimiento), de «estela» (obtención del campo de velocidades en el disco de la hélice), de «autopropulsión» (del modelo con su hélice a escala para extrapolación de la potencia necesaria del buque); en el túnel de cavitación se realizarán ensayos de «iniciación de cavitación» (aparición de ésta variando parámetros), «visualización del tipo de cavitación y propulsor aislado en baja presión» (igualando los índices de cavitación del modelo y el buque).

## **Maniobrabilidad**

La maniobrabilidad es la capacidad que tiene un barco para cambiar de rumbo, es decir, modificar su movimiento respecto a su plano diametral. Los buques de guerra han sido los primeros en los que se ha destacado esta característica por necesidad de realización de maniobras de evasión, exigiéndose en su especificación las pruebas de evolución y zigzag.



Los grandes petroleros han inaugurado el interés de la Marina mercante por la maniobrabilidad en la década de los años sesenta. Sus formas llenas y su baja relación eslora-manga degradaban su estabilidad de rumbo, que necesitaba corregirse continuamente, con su coste correspondiente. Surgieron entonces dos tendencias en la investigación de la maniobrabilidad: la de Estados Unidos y Europa basada en estudios teóricos desarrollando las necesidades del movimiento, y la japonesa que sigue una filosofía más experimental que teórica y, por tanto, de aplicación más práctica que requiere una técnica experimental basada en ensayos con modelo libre, que en el CEHIPAR llamamos «ensayos de pantano» por el lugar en el que se realizan.

El CEHIPAR dispone de aplicaciones informáticas basadas en la hidrodinámica de la carena, sistema propulsor y superficies de control para realizar estimaciones de la maniobrabilidad de un buque. A pesar de que a través de dichas estimaciones se obtienen resultados extremadamente fiables es necesario la realización de ensayos tanto de modelo cautivo realizado en el CEHIPAR, como de modelo libre o de pantano, si se desea conocer exactamente la maniobrabilidad de la embarcación.

### **Comportamiento del buque en la mar**

El proyecto de un barco es un arte que se ha ido desarrollando durante siglos, generando métodos tradicionales de diseño que abarcaban aspectos de:

- Estabilidad, mediante cálculos del buque en aguas tranquilas.
- Resistencia al avance, a través de ensayos de modelos también en aguas tranquilas.
- Diseño de hélices, por medio de series sistemáticas.
- Resistencia estructural, aplicando reglas de las sociedades de clasificación complementadas con cálculos estáticos de los esfuerzos del buque en la cresta de una ola.
- Maniobrabilidad y estabilidad de rumbo considerados satisfactorios simplemente fijando el área del timón.

Esta gran simplificación del desarrollo del diseño no es aceptable hoy día, debido a la evolución y exigencias de los tipos de buques actuales que han ido provocando grandes avances en la investigación de la dinámica del buque y concretamente en estudios analíticos y experimentales conocidos como comportamiento del buque en la mar.

El concepto de comportamiento del buque en la mar, sinónimo de sus movimientos en las olas, nos da su capacidad de cumplir adecuadamente sus misiones con seguridad.

El campo que cubre este tema se puede desglosar en:

1. Movimientos, velocidades y aceleraciones del buque.
2. Potencia y velocidad en olas.
3. Cargas inducidas sobre la estructura.
4. Valores extremales:
  - Embarque de agua en cubierta.
  - Cabezada y pantocazos.
  - Emersión de la hélice.
  - Efectos dinámicos de aceleraciones.

Evidentemente la estimación cuantitativa de todos ellos es importante para todos los buques, pero según el tipo de buque alguno de estos parámetros puede afectar seriamente al cumplimiento de su misión, lo que obligará a modificar el proyecto. Así en un portaaviones o en un buque de pasaje es prioritario evitar los movimientos vivos, en un portacontenedores deben analizarse cuidadosamente las cargas torsionales debido a sus grandes escotillas de cubierta, etc.

Pero hagamos un primer análisis de los movimientos propios de la superficie de la mar, para tratar posteriormente sus efectos sobre el buque.

### *Olas*

El movimiento de la superficie marina se caracteriza por su irregularidad y heterogeneidad haciendo prácticamente imposible su definición analítica. Las olas se generan por una transferencia de energía de fricción del viento a la superficie marina que provoca pequeñas olas cuyo tamaño se va engrosando por efecto de la presión del viento sobre la superficie ondulada alcanzando alturas que no superan un séptimo de su longitud en cuyo momento se rompe. La variación de la intensidad del viento (rachas) provoca olas de distintas dimensiones, que coexisten y causan la irregularidad de la superficie marina. Las olas más largas, con mayor energía, se alejan de la zona de generación a mayor velocidad que las cortas y de forma uniforme pero lentamente se van disipando hasta desaparecer.

Dadas las dificultades de la representación de la superficie marina su análisis no se inició hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XIX y, aún

así, con olas regulares (bien lejos de la realidad) desarrollando la teoría de la ola trocoidal (Rankine y Froude).

El primer estudio consistente de la relación viento-oleaje se realizó en la Segunda Guerra Mundial (Sverdrup y Munk) para predecir el estado de la mar en la operación anfibia de Normandía y en él se concluía que el mejor método para tratar un sistema de olas era a partir de registros disponibles de olas reales, analizar sus componentes armónicos, y generar el sistema a partir de técnicas de análisis de Fourier.

Pero este análisis aunque definía la ola en términos estadísticos de su altura significativa, no era del todo adecuado ya que no consideraba el carácter espectral del estado de la mar. Estas técnicas de representación espectral de las olas fueron iniciadas por Newman, Pierson y James de 1953 y 1955, (ya se habían desarrollado en el campo de las telecomunicaciones), a partir de análisis de registros de altura de ola (variable aleatoria) y aplicando técnicas estadísticas de manejo de datos con el apoyo de ordenadores.

De esta forma una mar irregular puede considerarse, durante un cierto tiempo, como la suma de muchas olas regulares (teóricamente infinitas) independientes de distintas frecuencias que progresan con una velocidad. Y así para el tratamiento matemático de la superficie del mar se define una función llamada el «espectro de varianzas», o también «espectro de energías», (la energía es proporcional al cuadrado de la altura de la ola), del que puede obtenerse distintos parámetros de la ola indicando también la severidad de la mar. De esta forma la cambiante superficie de la mar la consideramos como el resultado de un proceso aleatorio de composición de un gran número de olas regulares de distintas amplitudes y frecuencias, por lo que para analizar el movimiento del buque en un mar confuso debe estudiarse previamente el correspondiente a las olas regulares.

### *Respuesta del buque a olas regulares*

En los estudios iniciales de los movimientos del buque se le suponía navegando en olas regulares «de laboratorio», es decir, de cresta larga, uniformes y moviéndose en la misma dirección. Por otra parte los canales de experimentación sólo podían generar este tipo de olas, eran estrechos y el remolque del modelo se realizaba solamente en dirección perpendicular a la cresta de la ola. Pero sigue siendo hoy día útil analizar en primer lugar el estudio del comportamiento del buque en olas regulares.

Un buque avanzando en la mar es un sistema oscilatorio con seis grados de libertad, con movimientos lineales y angulares alrededor de los tres ejes principales. Los lineales son estrepada (*surge*), abatimiento (*sway*) y oscilación vertical (*heave*) y los de rotación son balance (*roll*), cabezada (*pitch*) y guiñada (*yaw*). Pero sólo la cabezada, balance y oscilación vertical son realmente movimientos oscilatorios puros, ya que generan una fuerza (o momento) antagónicos de recuperación hidrostática que actúa cuando el barco es apartado de su condición de equilibrio.

Los otros «no recuperan», por lo que en el estudio matemático de los movimientos no se les tiene en cuenta, aunque no por ello los movimientos del buque dejan de ser un fenómeno complicado que implica interacciones entre la propia dinámica del buque y las distintas fuerzas hidrodinámicas.

Para obtener las respuestas teóricas a estos movimientos hay que plantear y resolver seis ecuaciones no lineales con seis incógnitas. Pero cuando se trata de buques esbeltos navegando en moderado oleaje es aplicable la teoría lineal al ser movimientos moderados por lo que las ecuaciones pueden reducirse a dos conjuntos de tres ecuaciones lineales, uno de movimientos longitudinales (plano vertical) y el otro de los transversales (plano horizontal), siendo ambos independientes (desacoplados).

#### MOVIMIENTOS TRANSVERSALES: BALANCE

Por afectar a la seguridad al ser el de mayor amplitud y resultar de gran incomodidad para la dotación, es preciso limitarlo. Ya con Froude en el año 1865 se trató matemáticamente y se sugirió la instalación de quillas de balance para incrementar el bajo grado de amortiguamiento de que adolece este movimiento y que provoca una curva de respuesta en pico muy agudo. Por ello es el movimiento de más fácil estabilización pero también el más difícilmente predecible. Luego aparecieron más sistemas de amortiguación, los tanques estabilizadores pasivos, las aletas estabilizadoras (Segunda Guerra Mundial) y los tanques activos estabilizadores

#### MOVIMIENTOS LONGITUDINALES: CABEZADA Y OSCILACIÓN VERTICAL

El estudio matemático de estos movimientos fue iniciado por el ruso Kriloff en el año 1896, siendo uno de sus supuestos básicos (al igual que supuso Froude en su estudio del balance) que la ola actuaba sobre el buque pero éste no ejercía ninguna influencia sobre la ola, lo que no es correcto. Efectivamente, en la aplicación de la teoría hidrodinámica para obtener las

amplitudes de excitación estas fuerzas (y momentos) de excitación se dividen en las mencionadas de *Froude-Kriloff* y de *difracción*, siendo éstas las originadas por la modificación de la ola incidente debido a la presencia del buque. Las primeras se usaron como únicas fuerzas de excitación, lo que se puede considerar aceptable si la longitud de la ola es mucho mayor que la eslora, pero para longitudes cortas las fuerzas de difracción pueden llegar a ser la mitad de las totales de excitación.

Las primeras teorías partieron de una ecuación muy sencilla del movimiento:

$$M_E \cos \omega t = A_p \theta'' + B_p \theta' + C_p \theta \text{ (cabezada ángulo } \theta)$$

$$F_E \cos \omega t = A_h \eta'' + B_h \eta' + C_h \eta \text{ (oscilación vertical } \eta)$$

En la que el primer miembro de la primera ecuación expresaba el momento excitador de naturaleza armónica y los coeficientes de los tres términos del segundo miembro eran, el momento de inercia respecto al eje transversal (que incluye la masa de agua arrastrada en el movimiento), el coeficiente de amortiguamiento y el momento de recuperación hidrostática, respectivamente.

Similarmente en la segunda ecuación se expresa el movimiento vertical con la fuerza excitadora en el primer miembro y en el segundo el término de masa correspondiente al desplazamiento y que incluye la masa de agua añadida, el amortiguamiento y las fuerzas de recuperación hidrostáticas.

La dificultad de la resolución de estas ecuaciones está en conocer los valores de los seis coeficientes y del momento y la fuerza aplicados.

En el año 1955 fue Krowkosky quien propuso que las ecuaciones deberían considerar el acoplamiento de los movimientos de cabezada y vertical y usar el método de las rebanadas para resolver el problema.

Entonces las nuevas ecuaciones (simplificadas) son:

$$M_E e^{i\omega t} = A_p \theta'' + B_p \theta' + C_p \theta + A_{ph} \theta'' + B_{ph} \theta' + C_{ph} \theta \text{ (cabezada)}$$

$$F_E e^{i\omega t} = A_h \eta'' + B_h \eta' + C_h \eta + A_{hp} \eta'' + B_{hp} \eta' + C_{hp} \eta \text{ (oscilación vertical)}$$

en las que los dobles índices de los coeficientes indican acoplamientos de movimientos. Así  $A_{hp} \eta''$  representa la fuerza que afecta a la oscilación vertical debido al movimiento de aceleración de la cabezada.

Son similares a las que se obtendrían en el caso de un sistema formado por una masa y resorte con amortiguamiento y dos grados de libertad.

Pero hay una diferencia importante ya que en el buque tanto los coeficientes como las excitaciones son función de la frecuencia, lo que complica enormemente la solución en función del tiempo.

Conviene pasar las ecuaciones a forma compleja para obtener los valores de las dos incógnitas  $\theta$  y  $\eta$  necesitándose, además, para obtener la solución conocer los coeficientes  $A$ ,  $B$  y  $C$  y las amplitudes del momento y de la fuerza excitadora, lo que no es fácil. Esto se obvia aplicando la teoría de las rebanadas, en la que el buque se divide para su estudio en secciones transversales pudiéndose aplicar una formulación hidrodinámica bidimensional y calcular la masa añadida y el amortiguamiento para cada rebanada, y la total por integración de los resultados locales.

Naturalmente estos valores también pueden obtenerse en los canales de experiencias por medio de ensayos, aunque el interés de éstos es obtener directamente los valores de las incógnitas a menos que se busquen análisis de tipo académico. Estos ensayos son de extinción, oscilación forzada y excitación forzada.

Por la teoría lineal las respuestas del buque, dadas por  $\theta$  y  $\eta$ , son armónicas, proporcionales a la amplitud de la fuerza y momento de excitación de la ola incidente (a su vez proporcionales a la amplitud de ésta) y de su misma frecuencia, aunque naturalmente con un ángulo de fase que será invariante con la amplitud de la ola.

Para olas de muy larga longitud la amplitud de la respuesta del movimiento vertical y de la cabezada se aproximan, respectivamente, a la amplitud de la ola y a la máxima pendiente de la ola. A frecuencias intermedias estas respuestas pueden incrementarse hasta el doble para la oscilación vertical y vez y media para la cabezada

### *Respuesta del buque a olas irregulares*

Anteriormente se ha expresado que actualmente se utiliza una descripción estadística de la mar por medio del espectro de energía de las olas que es una función de densidad de probabilidad normal (gausiana) con media cero, quedando por determinar la varianza de la altura de las olas (obtenida de los registros sistemáticos) y sus características de frecuencia y dirección o «espectro direccional».

A partir de esta función se podría llegar a la predicción de los movimientos del buque incluso en mares irregulares. Es decir si conocemos la respuesta del barco a las olas regulares de distintas frecuencias y direccio-

nes, podemos predecir estadísticamente su respuesta a una mar aleatoria real si aplicamos la teoría lineal en la que la respuesta a una suma de olas excitadoras es igual a la suma de las respuestas de cada ola componente. Incluso los movimientos máximos del buque pueden tratarse estadísticamente de la misma forma que las amplitudes máximas de las olas.

En la técnica marítima el módulo de la función de transferencia de la respuesta recibe un nombre especial debido a St. Denis y Pierson: Operador de Respuesta en Amplitud (RAO) *Response Amplitude Operator*, que se define como la relación entre la amplitud de la respuesta (escalar) del buque y la amplitud de la ola regular excitadora.

El trabajo de estos autores destaca por haber engarzado dos teorías bien diferentes: un modelo probabilístico como es la definición estadística de la superficie del agua (espectro de varianzas) que alimenta a la teoría clásica hidrodinámica de cálculo de los movimientos del buque.

De esta forma y a partir del espectro de energía de las olas puede generarse un espectro de respuestas del buque a mares irregulares para un estado de la mar dado dentro de los límites de la teoría lineal.

Esta predicción de los movimientos del buque en la mar realizada bien por métodos analíticos o experimentales permiten estimar las características operativas del buque antes de su construcción.

Veamos el impacto que las distintas respuestas específicas del buque tienen en el rendimiento del personal y en los sistemas del buque en el desarrollo de sus misiones. Son valores estadísticos obtenidos de una gran cantidad de datos de buques en servicio presentándose para una fragata los valores límites que se aconseja no deben superarse por razones de seguridad.

Los valores límites de respuesta (ángulos, desplazamientos, etc.) están expresados por el valor cuadrático medio, cuadro 1.

#### VALORES EXTREMALES

Los resultados brutos obtenidos por cualquiera de los métodos descritos consisten en series temporales de variables aleatorias. Para interpretarlos es necesario recurrir a sus valores estadísticos.

En muchos casos el interés está en las estadísticas medias tales como la media, valor cuadrático medio, amplitud significativa, etc. Este es el caso, por ejemplo, del estudio del confort a bordo, ya sea de los pasajeros como

**Cuadro 1.** Los valores límites de respuesta.

Movimiento	Sistema afectado	Características afectivas	Valor límite (fragata)
<p><i>Amplitudes:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Escora</li> <li>— Cabezada</li> </ul> <p>— Desplazamiento vertical (cubierta de vuelo)</p>	<p>Personal Sistemas</p> <p>Personal capacidad operativa</p>	<p>Daños en personal Embotamiento mente Disfunciones sistemas</p> <p>Daños en personal, manejo aeronaves Incapacidad vuelos</p>	<p>9,6° 5,1°</p> <p>1,26 m</p>
<p><i>Velocidades y aceleraciones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Acelaración vertical</li> <li>— Acelaración lateral</li> <li>— Mareo (movimiento vertical sinusoidal)</li> <li>— Cabezada (vibraciones verticales)</li> </ul>	<p>Personal capacidad operativa Personal capacidad operativa Personal</p> <p>Personal capacidad operativa y sistemas buque</p>	<p>Fatiga y embotamiento</p> <p>Degradación capacidad operativa Embotamiento mente</p> <p>Fatiga, daños personales Embotamiento mente Degradación sistemas No sonar remolcado</p>	<p>0,2 g</p> <p>0,1 g</p> <p>20% personal en 2/h 0,2 g</p>
<p><i>Movimientos relativos buque-mar:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Frecuencia de los pantocazos (inmersión proa)</li> <li>— Frecuencia emersión domo sonar</li> <li>— Frecuencia agua sobre cubierta (proa)</li> <li>— Probabilidad emersión hélice</li> </ul>	<p>Sistema operativo y de plataforma</p> <p>Capacidad operativa</p> <p>Personal y apacidad operativa</p> <p>Sistemas de plataforma</p>	<p>Cargas de socollazao Daños en sensores y estructuras pantoque Merma eficaz del sonar</p> <p>Daños en personal Daños equipo cubierta</p> <p>Daños planta propulsora</p>	<p>Tres en 100 ciclos</p> <p>120 h</p> <p>30 h</p> <p>10 h (25% hélice)</p>
<p><i>Movimientos relativos a aeronave:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Velocidad vertical aeronave respecto a cubierta</li> </ul>	<p>Capacidad operativa</p>	<p>Daños tren aterrizaje o pérdida de la aeronave</p>	<p>1,83 m/sg</p>



de la tripulación, ya que el mareo, la pérdida de concentración o la capacidad de trabajo dependen más de la persistencia y amplitud de las aceleraciones y movimientos que de sus valores máximos. Del mismo modo, el criterio para determinar si un helicóptero puede tomar o despegar de un buque se basa en el valor de los movimientos.

En otros casos el interés se centra en la distribución estadística o histograma. Un caso típico es el de la fatiga que depende tanto de los valores de los esfuerzos cómo de la frecuencia con que se producen.

Hay muchos casos en que el interés estriba en los valores extremos (máximos o mínimos). Esto ocurre, por ejemplo, cuando se consideran las cargas sobre la estructura del buque o sobre la carga y sus soportes y en general en todos los problemas estructurales como es el caso de los pantocazos.

Por último, hay casos en los que no es tanto el valor máximo de la variable lo que interesa sino el número de excedencias en cierto intervalo de tiempo de un cierto valor que se considera crítico. Esto ocurre cuando se estudia el embarque de agua y las emersiones del propulsor o de la proa. Luego comentaremos algo más de esto.

Cuando se consideran valores extremos o excedencias no se suelen utilizar directamente los valores obtenidos en los ensayos ya que son una muestra poco fiable estadísticamente. Por el contrario, lo que se hace es ajustar una distribución teórica (por ejemplo Rayleigh o Weibull) a los datos y extrapolar a la probabilidad deseada.

La gran complejidad de los cálculos hidrodinámicos de los movimientos del buque al maniobrar ha restringido el uso de CFD en este campo, abordándose el tema por utilización de modelos mixtos, es decir, apoyados en resultados experimentales.

## RESISTENCIA AÑADIDA POR LAS OLAS

Hasta bien entrado el pasado siglo la predicción de la resistencia al avance de un barco se hacía solamente para aguas tranquilas ya que era imposible encontrar una forma matemática sencilla que definiese la naturaleza aleatoria y fuertemente irregular de las olas. Históricamente, para mantener la velocidad, se compensaba la resistencia debida a olas con un aumento arbitrario de la potencia calculada en aguas tranquilas.

Una vez conocido el análisis espectral como herramienta para manejar la superficie marina irregular y sabida la conexión con las olas regulares, se inicia a finales de los años cincuenta, de forma más racional, la investigación de los efectos de las olas sobre el buque.

La resistencia añadida por la presencia de las olas puede llegar a ser notable y así en una fragata de 120 metros de eslora con un estado del mar 5 (olas de 3-4 metros) supone más del doble de la resistencia en aguas tranquilas, aunque ello depende mucho de la velocidad, características de la curva de resistencia y de la sobrecarga de la hélice. También hay que tener en cuenta que en mares duros puede ser necesario bajar la velocidad debido a efectos extremos como pantocazos, embarque de agua en cubierta o una frecuente emersión de la hélice.

Se han realizado muchos estudios teóricos (conservación de la energía, variación de la cantidad de movimiento, etc.) para calcular el incremento de esta Resistencia Añadida (RA) por olas todos ellos basados en la teoría potencial; pero actualmente siguen siendo los canales de experiencias los que dan alta fiabilidad en estas predicciones.

El método generalmente seguido es medir la resistencia remolcando el modelo a velocidad constante, permitiéndole libertad de movimientos de cabezada y de oscilación vertical. La RA se calcula restando de la resistencia así medida la calculada en aguas tranquilas a la misma velocidad.

Los parámetros que más influyen en el valor de la RA son:

- Longitud de la ola: la RA es máxima cuando se iguala la longitud de onda a la eslora (máxima cabezada).
- Altura de la ola: la RA es aproximadamente proporcional al cuadrado de la altura.
- Rumbo relativo a la ola. El valor depende de la longitud de la ola y de la velocidad del barco (frecuencia de encuentro). Pero en general la RA se incrementa con las olas por la proa y se va reduciendo gradualmente al abrirse hacia el través y continuando hacia la aleta.
- Velocidad del barco. En principio la RA no aumenta con la velocidad como en el caso de aguas tranquilas, sino que la dependencia lo es a través del incremento del movimiento del barco
- Porte y características del barco. La RA tiene cierta relación con los movimientos que sufre el barco, por lo que los de gran porte son menos afectados. La manga es la que más aumenta la RA.

## CFD

El cálculo de la resistencia al avance de un cuerpo en un fluido ha sido tradicionalmente abordado por métodos numéricos y aunque ya en el siglo XVIII científicos y matemáticos como Laplace, Bernouilli y Euler establecieron las ecuaciones básicas de mecánica de fluidos apenas se llegaron a utilizar en campos prácticos de ingeniería por su dificultad de tratamiento numérico. En el siglo XIX Navier y Stokes presentaron las ecuaciones que definen el flujo de fluidos viscosos alrededor del cuerpo y cuya solución determinaría su campo de velocidades, del que se puede obtener la distribución de presiones (Bernouilli) y por tanto las fuerzas que actúan sobre la carena. Pero su aplicación práctica también fue muy escasa y limitada a casos muy sencillos en los que era viable obtener una solución a costa de importantes simplificaciones.

Al filo de la terminación de este siglo, Michell presentó una solución analítica de la resistencia al avance de un buque fino (manga muy pequeña respecto a la eslora o calado) por formación de olas en un flujo potencial lo que impulsó el desarrollo de los métodos numéricos en la hidrodinámica.

A comienzos del siglo XX, Prandtl, con su teoría de la capa límite consigue una simplificación de la solución de Reynolds para las ecuaciones de Navier-Stokes, obteniéndose la posibilidad de analizar el flujo en situaciones de interés técnico si bien de forma restringida dada la capacidad de los medios de cálculo de entonces y por la propia limitación conceptual de la teoría que excluye situaciones en que aparezcan fenómenos de turbulencias y de separación de capa límite.

Pero hace unas tres décadas la aparición de los ordenadores con su gran capacidad y velocidad de cálculo impulsaron fuertemente las técnicas de resolución numérica y así se desarrollan rápidamente algoritmos que persiguen la obtención de soluciones no estacionarias y de soluciones para un valor medio (Reynolds averaged N-S equations, RANSE), de las ecuaciones no lineales de Navier-Stokes.

El aumento de potencia de los ordenadores han permitido resolver modelos matemáticos cada vez más complejos planteándolos como grandes sistemas lineales y no lineales accesibles al ordenador. Nace así la hidrodinámica numérica por ordenador o CFD cuya metodología, basada en una «deglución» masiva de números, prácticamente ha reemplazado a los más elegantes, aunque menos generales, métodos analíticos de la primera mitad del siglo pasado. Realmente los cálculos CFD se han iniciado en

el campo de la aeronáutica quizá debido a que el aire es un fluido «más fácil» (baja viscosidad) que el agua y además no existe el fenómeno singular de la superficie libre irregular de las olas.

Actualmente los cálculos CFD se han dividido en tres ramas: flujo alrededor de la carena y resistencia al avance, análisis de comportamiento en la mar y maniobrabilidad, y análisis de propulsores.

### *Cálculos CFD en carenas*

Pionero de estos nuevos métodos ha sido el de Hess y Smith (1962) en el que por primera vez se trata el cálculo del flujo potencial tridimensional alrededor de un cuerpo sumergido con formas arbitrarias con condiciones de contorno aplicadas en la superficie del casco. Obviamente el problema se simplificaba notablemente al considerar el flujo sin viscosidad ni superficie libre.

De más interés desde el punto de vista hidrodinámico ha sido la introducción de la superficie libre (método de Dawson, 1977), basada en la linealización de las condiciones de contorno. Este método resulta muy útil en la comparación de dos carenas y en el diseño de detalle de las mismas, pero los valores absolutos obtenidos deben tomarse con reserva.

La siguiente etapa en los cálculos CFD es el tratamiento del flujo viscoso sin considerar superficie libre como un primer paso, o incorporándola en un desarrollo más avanzado, pero el ordenador más potente de hoy día no puede realizar en tiempo de cálculo razonable una descripción numérica aproximada del flujo en el que se tenga en cuenta simultáneamente y en toda su extensión estos dos fenómenos de viscosidad y superficie libre.

Los métodos de cálculo del flujo alrededor de una carena por técnicas CFD se basan normalmente en la definición de la carena por CAD (*Computer Aided Definition*). Los utilizados en el CEHIPAR son:

Para cálculo de la resistencia al avance:

- *Dawson* para flujo potencial lineal: es simple (se ejecuta en un PC), rápido y de resultados muy aceptables. En el año 2000 se actualizó en versión potencial de cálculo no lineal llamado *Rapid*.
- *Shipflow*, para cálculos de flujos tanto potenciales (lineales y no lineales) de capa límite como viscosos por un método energético tipo  $k-\epsilon$ . Es el programa comercial con más pretensiones de los actualmente existentes.

Veamos una salida de estas figuras CFD aplicado a carenas que pertenecen a la optimización de las formas de proa de un buque portacontenedores con el Programa Rapid, figura 2.

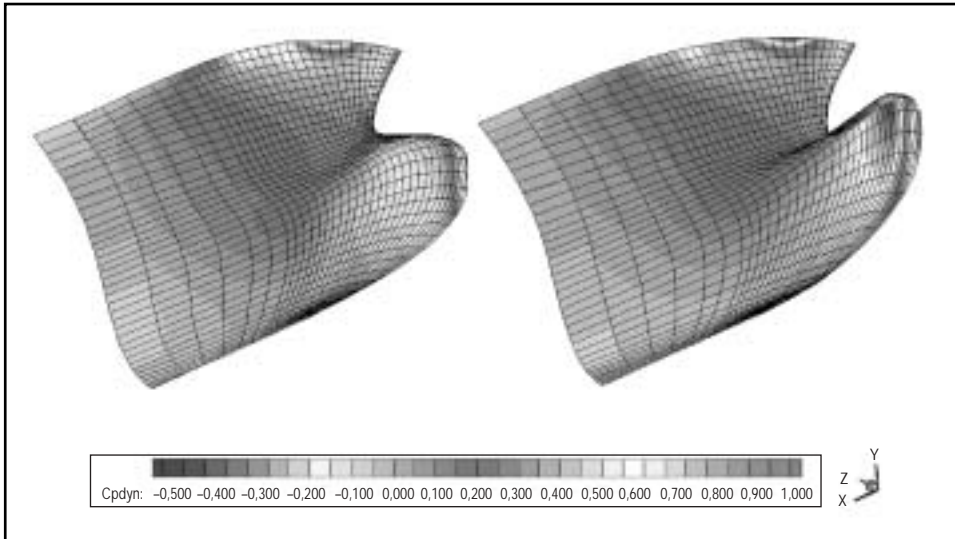


Figura 2. CFD aplicado a carenas.

Aquí se puede ver las distribuciones dinámicas de presión en las dos configuraciones de proa. La proa de la izquierda corresponde al buque original y la de la derecha a la proa optimizada. La flotación está marcada con una línea negra. Pese a que los valores del coeficiente de presión son algo mayores en las formas optimizadas, las transiciones son más suaves en la flotación, mejorando el perfil de la ola generada, como se observa en la figura 3.

En esta figura se ven los perfiles de ola sobre la carena para las dos configuraciones de proa vistas en la figura anterior. La curva gris corresponde a las formas originales y la negra a las optimizadas. Se puede apreciar la mejoría provocada por el nuevo bulbo.

En la figura 4, p. 136, se presentan conjuntamente los mapas de las olas generadas por las dos carenas en estudio. En la parte superior se presentan las formas originales y en la inferior las optimizadas. Se puede apreciar la mejoría en los trenes de ola de proa y la disminución del número de olas de proa.

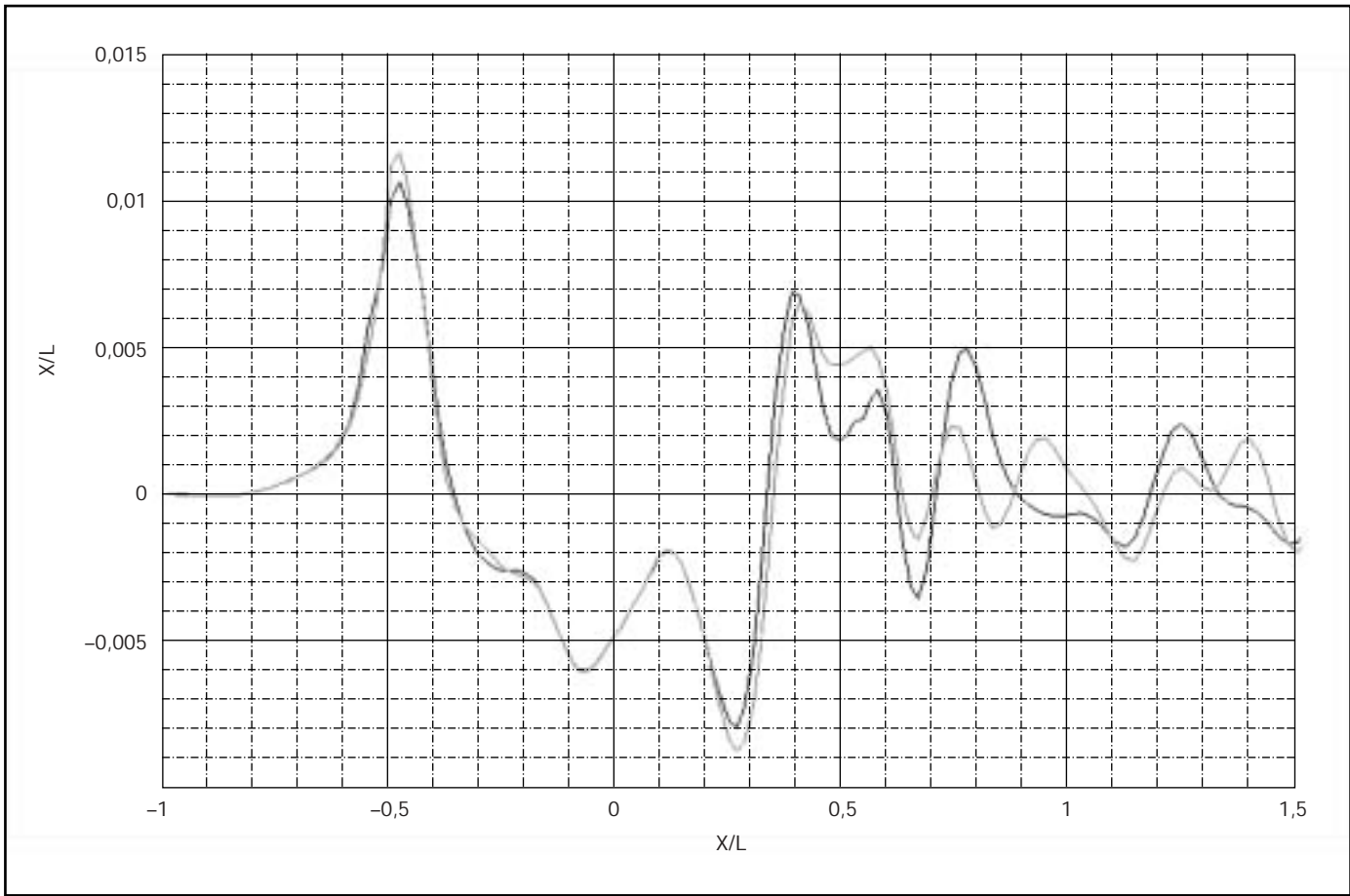


Figura 3. Perfil de las olas generadas.

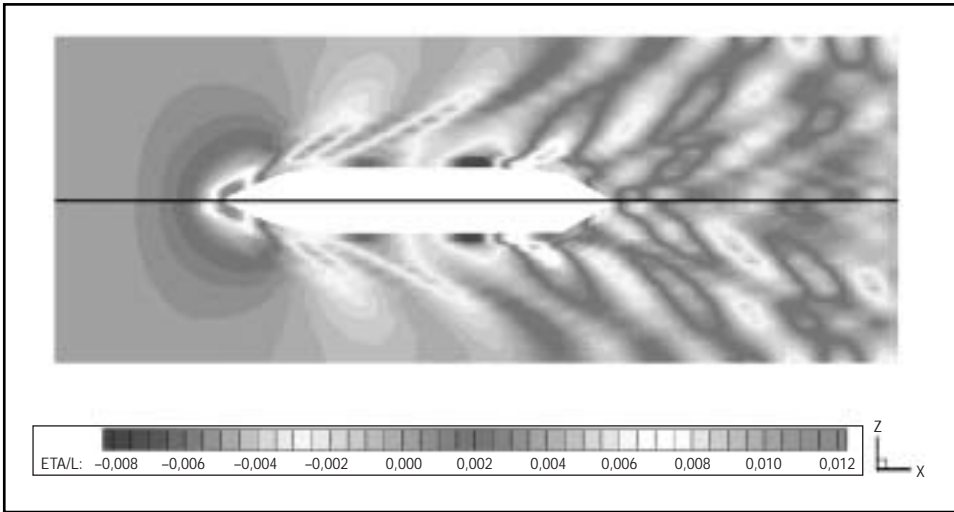


Figura 4. Mapas de olas generadas por las dos carenas en estudio.

#### *Cálculos CFD de predicción del comportamiento del buque en la mar y maniobrabilidad*

Actualmente los programas operativos de predicción del comportamiento en la mar intentan resolver numéricamente el problema de flujo potencial alrededor del buque en olas mientras que los efectos de la viscosidad se introducen de forma empírica.

Como consecuencia, las predicciones son mucho mejores para los movimientos verticales (oscilación vertical y cabeceo) que para el balance o la guiñada con la mar de aleta donde la viscosidad juega un papel importante. Los programas más usados son de tipo lineal, es decir que se supone que la respuesta es proporcional a la excitación (altura de la ola), lo que implica suponer amplitudes de ola pequeñas a moderadas. La inclusión de efectos no lineales como la deformación de la ola por el buque en marcha o la influencia de la obra muerta está en pleno desarrollo.

En general, los programas lineales trabajan en el dominio de la frecuencia. El cálculo se hace para olas regulares de unas frecuencias dadas y los resultados para el mar real se obtienen por superposición lineal de los correspondientes a cada ola componente. El flujo total correspondiente a la ola en presencia del buque se suele descomponer en varios flujos superpuestos que se calculan por separado. Por un

lado está el flujo correspondiente a la ola incidente sin deformar. Por otro el flujo debido a la difracción de la ola producida por el buque supuesto fijo, flujo llamado de difracción. Y por último el flujo que produce el buque oscilando en los distintos modos sin la presencia de olas. Este flujo produce olas que se alejan del buque por lo que se llama flujo de radiación.

Para resolver cada uno de estos flujos se suelen usar dos métodos, el de las rebanadas (2D) ya mencionado y primero en desarrollarse y el otro en 3D. En el primero, el buque se divide en varias secciones transversales calculándose las fuerzas hidrodinámicas en cada una de ellas, obteniéndose las globales por integración a lo largo de la eslora. La influencia de la velocidad solamente se considera de una forma indirecta por lo que los resultados no son aceptables para velocidades altas, figura 5.

En el método en 3D, la influencia de la velocidad se puede considerar de forma directa o indirecta. El tiempo de cálculo al considerar la velocidad de forma directa se multiplica por un factor de 100. La superficie de la

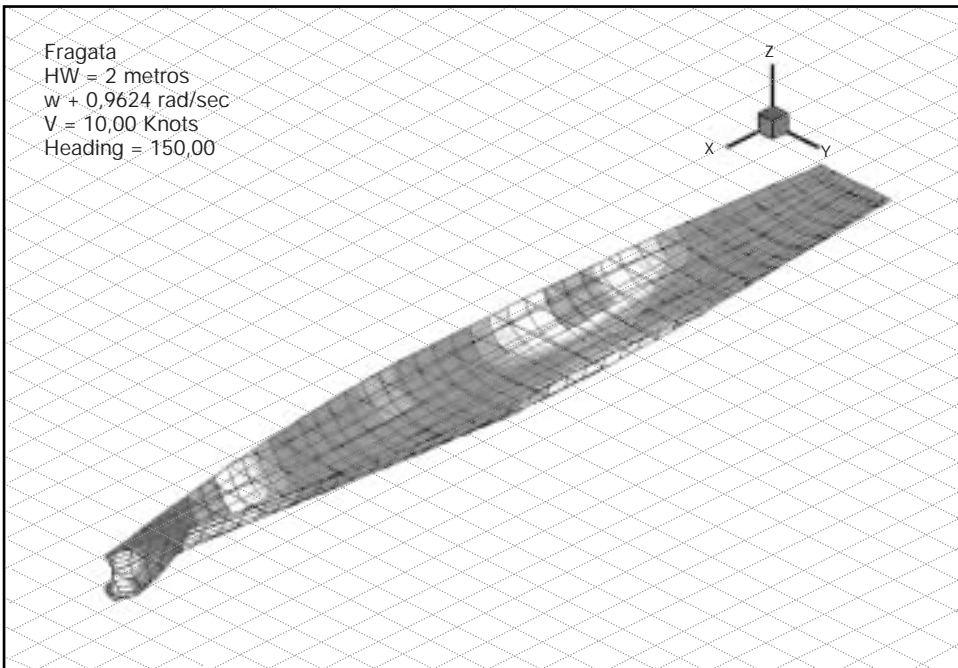


Figura 5. *Fragata.*



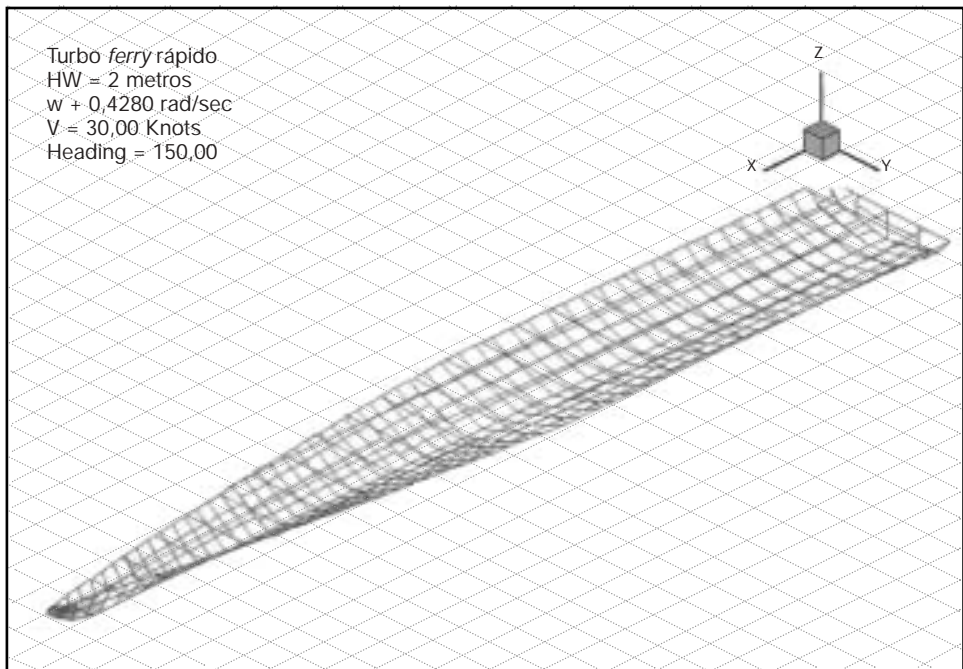


Figura 6. Turbo ferry rápido.

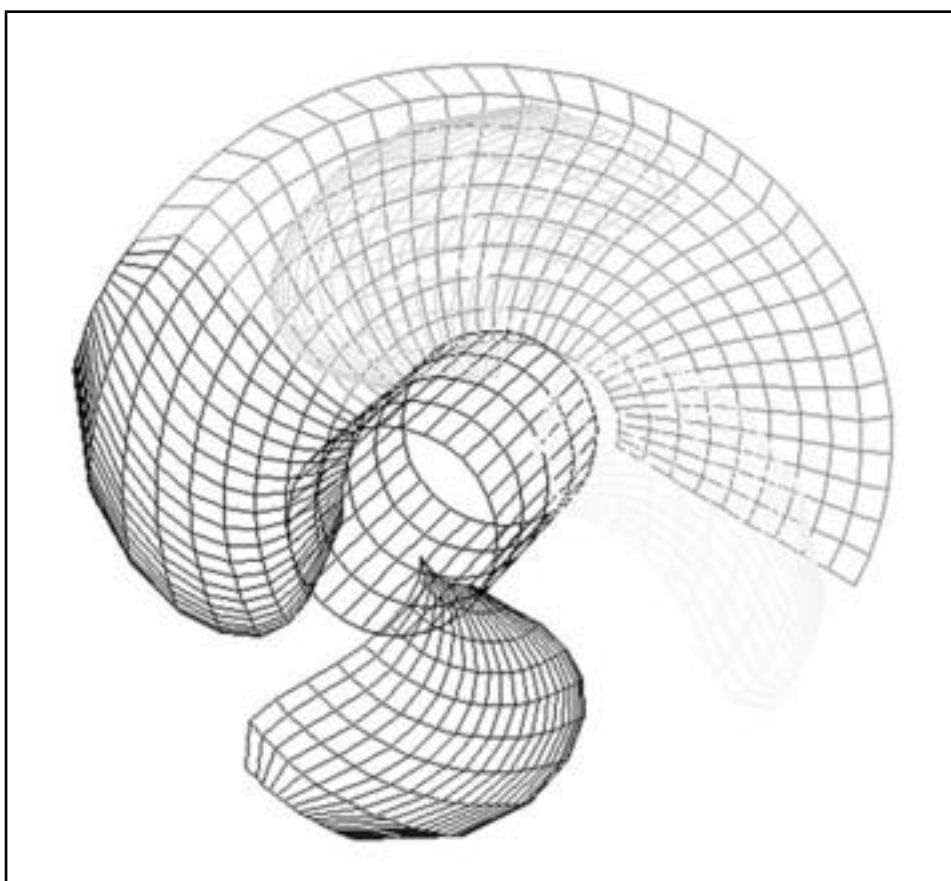
obra viva del barco se representa por un conjunto de paneles de forma rectangular. En cada panel se supone una distribución de fuentes pulsantes (la intensidad varía sinusoidalmente a una frecuencia dada) de intensidad constante aunque desconocida *a priori*. Por lo tanto en realidad la mitad del tiempo es una fuente y la otra mitad un sumidero. Las intensidades se calculan de forma que se cumpla la condición de contorno en el punto medio de cada panel. Esta condición consiste en que la velocidad del agua normal al casco debe ser igual a la velocidad del casco en la misma dirección.

Con objeto de mejorar la predicción, especialmente con olas de gran amplitud, se están desarrollando modelos no lineales. Éstos, generalmente, trabajan en el dominio del tiempo de forma que es posible considerar la forma instantánea de la superficie del agua relativa al buque en cada momento. En su estado actual, estos programas necesitan un tiempo de cálculo muy superior al de los programas lineales. Por ello, para casos como puede ser la comparación de varias carenas es más conveniente limitarse a los métodos lineales en el dominio de la frecuencia, figura 6.

### *CFD en propulsores*

Los métodos numéricos para el estudio de las hélices, que hoy día pueden considerarse los más avanzados, se vienen utilizando desde los años ochenta, aunque de CFD de hélices se habla desde los noventa, al desarrollarse los métodos de paneles e incluirse la predicción de la cavitación. Tienen una precisión suficiente para la mayoría de los casos prácticos en regímenes habituales de trabajo de la hélice y forman una parte imprescindible del proyecto, figura 7.

Sin embargo, el proyectista debe realizar un ensayo final de confirmación. Los CFD de hélices disponibles en el CEHIPAR han sido desarrollados en el marco de un consorcio internacional en colaboración de un con el Massachusetts Institute of Technology y la Universidad de Tejas (Estados



**Figura 7.** Penalización de una hélice.

Unidos). Permiten obtener no solamente los valores medios del empuje, el par y el rendimiento de la hélice; sino también otras muchas variables que afectan a la calidad del proyecto como por ejemplo las fluctuaciones de presión del agua transmitidas al casco, las vibraciones en la línea de ejes, etc. Como ilustración se presenta una pequeña parte de la salida gráfica de los programas para el proyecto CEH2272. En la figura 7, se presenta la panelización de una hélice

En las figuras 8 y 9 se puede ver la predicción de la cavitación lámina sobre una pala en distintas posiciones circunferenciales siendo más cavitante en las posiciones superiores. Las distintas tramas grises del diagrama de presión indican los distintos niveles de la misma en las diferentes zonas de la pala. Sirven al proyectista para evidenciar la posible existencia de zonas pre-dispuestas a los tipos de cavitación más dañinos y tomar medidas para evitarlas.

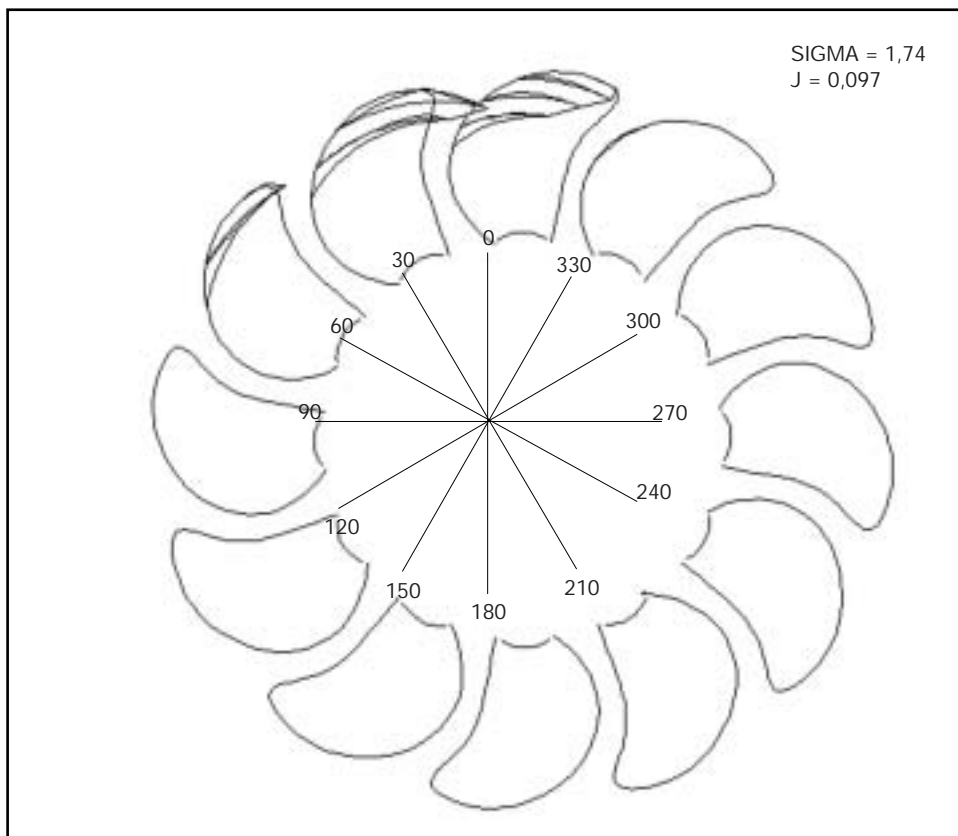


Figura 8. Diagrama de predicción de la cavitación.

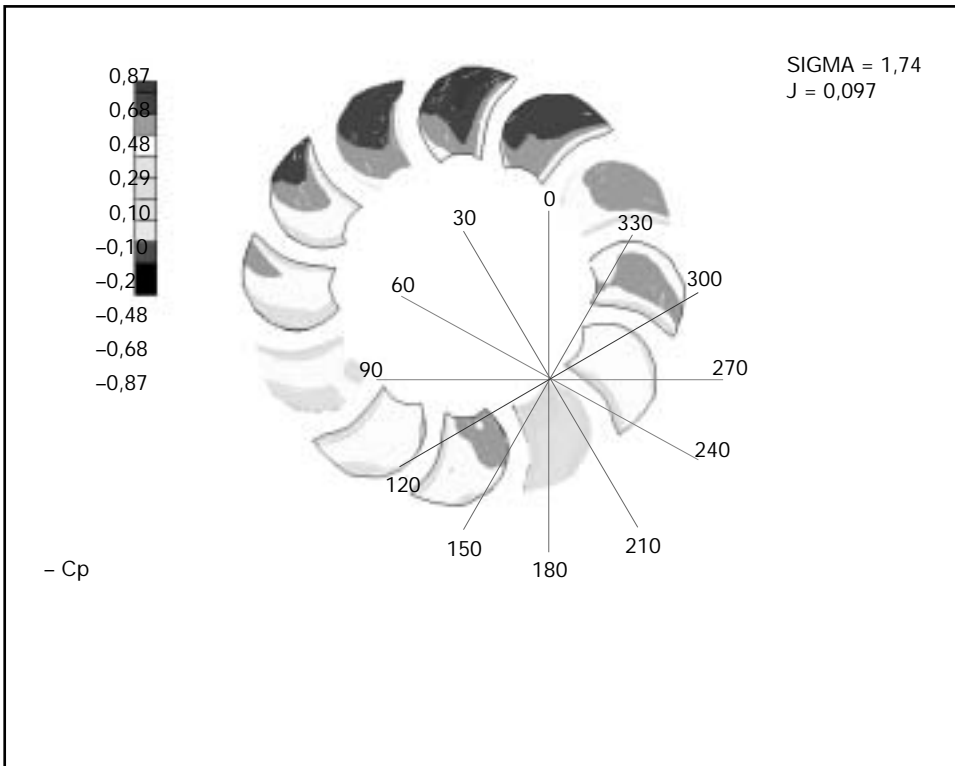


Figura 9. Diagrama de presión.

La figura 10, p. 142, representa los valores de los armónicos de las fuerzas vibratorias transmitidas por la hélice a la línea de ejes en porcentaje del empuje y el par axial.

Esta información que es difícil de obtener mediante ensayos, es muy útil para que el proyectista pueda evaluar el cumplimiento de los criterios de vibraciones, importantes para la seguridad de la maquinaria, así como para el confort de la tripulación y los pasajeros.

#### Comentario sobre los cálculos CFD

El objetivo final de la investigación en CFD está en alcanzar la solución numérica completa de los fenómenos hidrodinámicos del buque con una precisión tal que compita con los resultados de los canales de experiencias, es decir, conseguir un «canal hidrodinámico numérico». Pero hoy por hoy está todavía muy lejos debido a la capacidad limitada de los ordenadores y

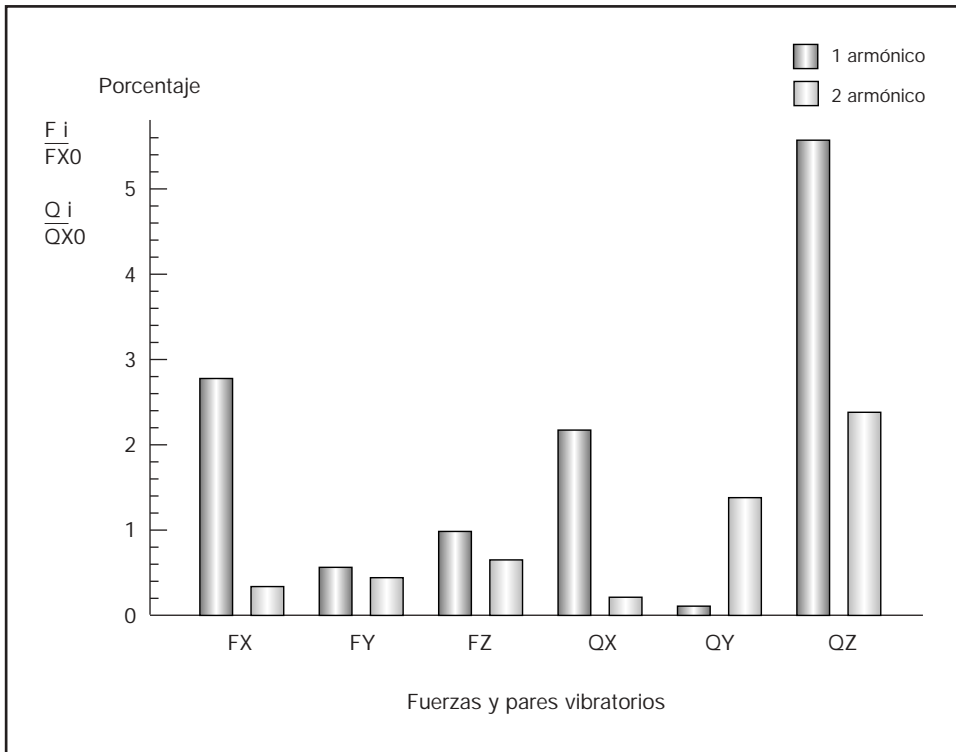


Figura 10. Valores armónicos.

a la complejidad y nivel de conocimiento de ciertos fenómenos como por ejemplo la turbulencia. Pero lo que sí es verdad es que el uso práctico de las técnicas CFD es ya una realidad que se va extendiendo por ofrecer importantes ventajas como plazos de ejecución muy cortos y abreviar los procesos iniciales de la experimentación en la optimización de modelos.

A su vez la mejora de las técnicas CFD necesita validar sus resultados numéricos con los experimentales obtenidos en los canales de experiencias.

### Ejemplos de investigaciones del CEHIPAR de realización inmediata

Para terminar veamos unos temas en los que la experimentación evalúa y perfecciona métodos numéricos de predicción de fenómenos hidrodinámicos o ayuda a mejorar la seguridad en la navegación.

### *Método de predicción de embarque de agua en cubierta*

Se trata de validar programas de cálculo de predicción de embarque de agua en cubierta por efecto de las olas. Las últimas estimaciones de probabilidad de embarque de agua y del número de veces que este embarque se produce se basan en la suposición de que las amplitudes de los movimientos relativos cresta de la ola-cubierta siguen la distribución de Rayleigh y que se produce un embarque cuando la ola supera el francobordo. Sin embargo, se ha observado una gran discrepancia entre las predicciones del programa numérico de la frecuencia de embarque y los casos reales en experimentación o a bordo de buques.

Aparentemente el fallo en esta predicción está en el exceso de simplificación del análisis del fenómeno, que en realidad queda reducido a una sola dimensión: la simple superación del francobordo por la ola se considera como un embarque sin tenerse en cuenta el tiempo durante el que esto ocurre. Sin embargo, para que se contabilice un embarque de agua debería mantenerse el fenómeno un cierto tiempo, debería haber un umbral de «intensidad».

Por ello hay que evaluar el fenómeno por la probabilidad de concurrencia de dos sucesos: que se anule el francobordo en cualquier punto debido al movimiento de la cubierta y que la duración de ello supere un umbral de tiempo prefijado, figura 11.

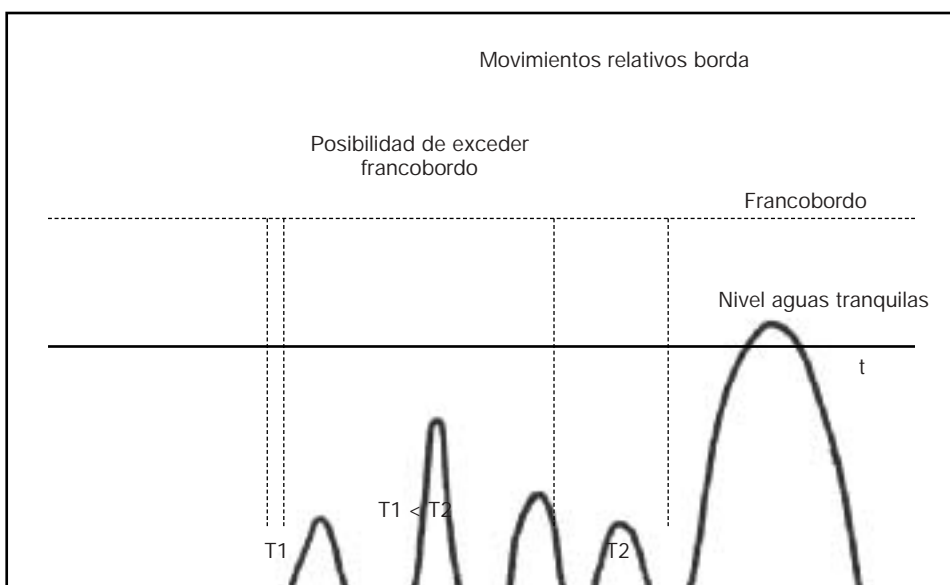


Figura 11. Probabilidad de exceder tiempo crítico.

Hay pues que definir este tiempo, que debe obtenerse estadísticamente de ensayos de modelos y de observaciones de buques reales. Hay que perfeccionar el método aspirando a poder aplicar esta predicción a diversos tipos de buques e incluso llegar a encontrar una formulación que pueda extenderse a toda clase de barcos en función de la geometría específica de la proa.

### *Sistema de evacuación de buques de pasaje*

Durante el accidente del *Estonia* se hizo evidente que con los sistemas actuales un buque de pasaje seriamente dañado puede conducir a una pérdida masiva de vidas humanas.

Con esta experimentación se trata de realizar una serie de pruebas para estudiar los procesos de salvamento de un buque dañado y escorado en una mar agitada y analizar la dinámica de la utilización del material de salvamento en el entorno del buque siniestrado.

Se utilizará un modelo a escala del buque averiado de unos 11 metros de eslora con superestructura, dos modelos diferentes de balsas salvavidas de 0,6 metros de eslora con transductores y un pescante accionado a distancia por control radio. Lo más llamativo de este sistema es que usará una manga largable desde el barco hasta las balsas, que irá fija a ambos y de longitud adaptable a los movimientos del barco y de las balsas, no debiendo interferir el movimiento de éstas, figura 12.

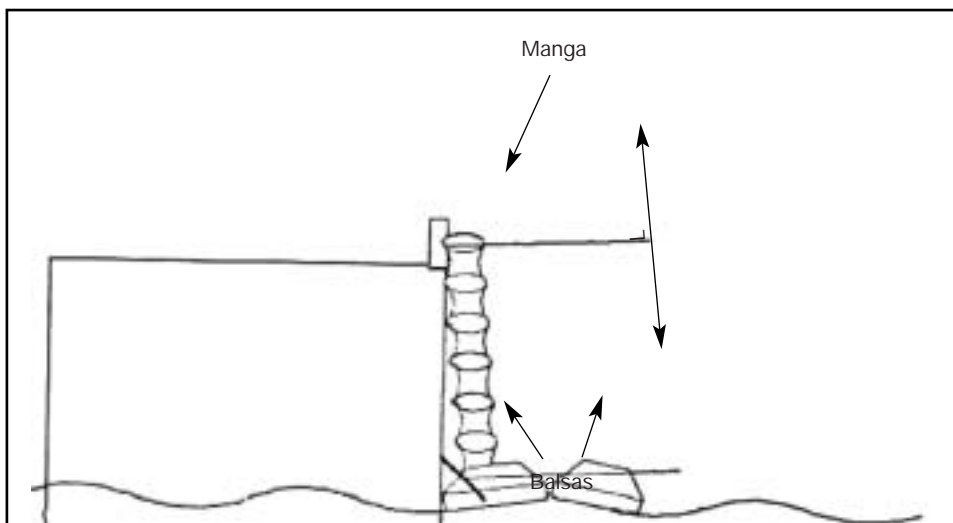


Figura 12. Sistema de evacuación de buques.

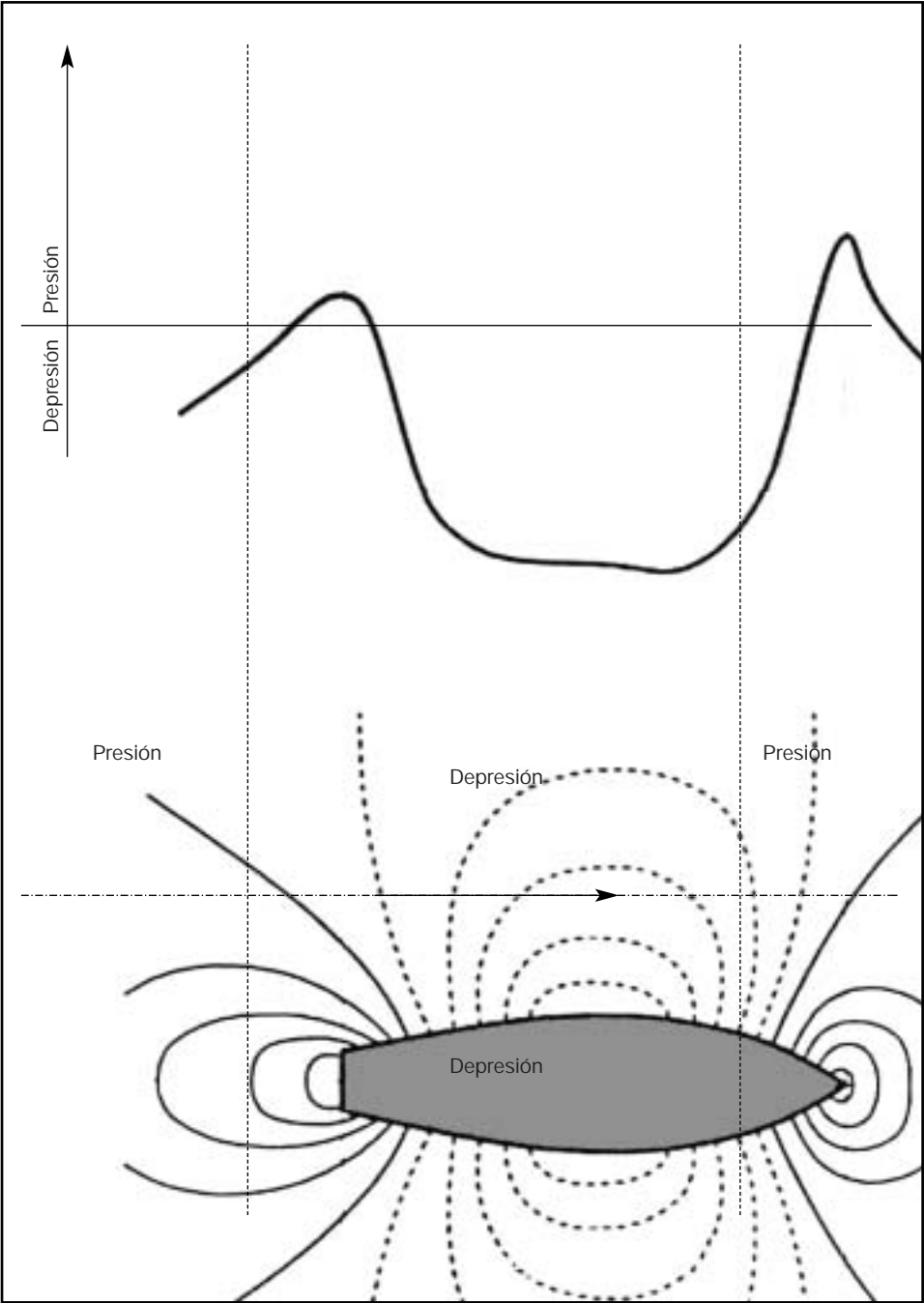


Figura 13. Campo de presiones de un buque navegando.



Previsión de ensayos a realizar: movimientos oscilaciones del buque en deriva, oscilación vertical y balance, midiendo las olas de radiación. También se someterá el barco a olas por el través y a olas irregulares de cresta corta dejándolo totalmente libre. Se medirán movimientos, aceleraciones, etcétera.

### *Interacción entre buques*

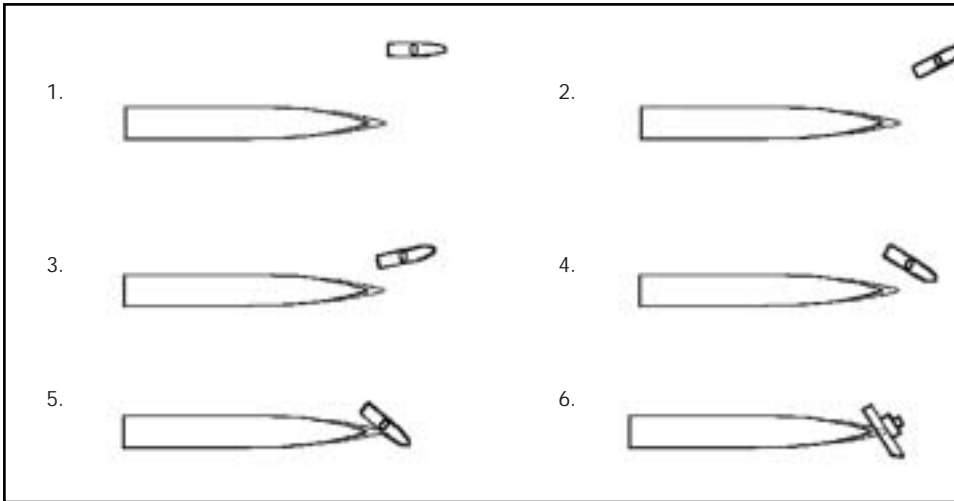
Dos buques navegando en proximidad y a rumbos paralelos se ven sometidos a fuerzas hidrodinámicas de atracción y repulsión que pueden provocar un accidente de colisión. Ello es debido que el campo de presiones alrededor de un barco navegando se caracteriza por la existencia de dos zonas de sobrepresión en la proa y en la popa y otra de depresión por el través. En el caso de navegación paralela y a corta distancia, aparece un efecto de interacción entre ambos campos que, de no estar al tanto los timoneles, puede provocar un accidente.

En la práctica no son raras estas situaciones de navegación: operaciones de petróleo y aprovisionamiento en la mar en el caso de buques de guerra, aproximación de un remolcador a un buque para su entrada en puerto, navegación en canales estrechos, etc. El fenómeno se hace más evidente en aguas someras y restringidas y se agudiza más cuando la diferencia de porte de los dos barcos es importante, figura 13.

Una catástrofe marítima provocada por este efecto saltó a los periódicos hace cuatro años cuando un patrullero albanés (A 451) fue abordado y hundido por una corbeta italiana (*Sibilla*) con la dramática pérdida de entre 60 y 80 vidas humanas (nunca se sabrá el número exacto)

El patrullero había sido robado y transportaba inmigrantes ilegales albanos que pretendían alcanzar territorio italiano, cuando fue interceptado por la Marina italiana que trató de interferir la derrota del barco para evitar el desembarco.

Durante un tiempo la corbeta y el patrullero estuvieron navegando a una velocidad de unos 10 nudos, rumbos paralelos y a corta distancia (10 a 15 metros) y cuando la proa de la corbeta sobrepasaba la popa del patrullero, éste, trató de escapar metiendo timón para alejarse del barco oponente. La proa cayó adecuadamente, pero su popa se aproximó aún más a la proa de la corbeta en una posición que aunque entra dentro de lo esperado, propició la aparición de una fuerza de interacción, debido a la superposición de los campos de presiones, que hizo súbitamente bornear al



**Figura 14.** *Secuencia de la colisión corbeta-patrullero.*

patrullero hacia la proa de la corbeta. La fuerza hidrodinámica lateral sobre el patrullero fue muy superior al par de maniobra que podrían dar los timones, sufriendo la popa un empuje hacia fuera que lo precipitó hacia la proa de la corbeta que lo abordó golpeándolo en el puente y provocándole una escora a babor aumentada por el movimiento de huida de las personas hacia esa banda. El patrullero embarcó agua por los portillos y las escotillas de cubierta que no se habían cerrado, volcó y se hundió, figura 14.

Estos efectos de atracción y repulsión pueden agravarse cuando los dos buques navegan a alta velocidad, produciendo olas de gran pendiente y de cresta aguda que pueden hacer que el barco pequeño se atraviese, escore y se precipite contra el grande.

En esta experimentación se trata de estudiar a fondo este efecto midiendo las fuerzas de atracción laterales y momento de guiñada sufrido, a distintas posiciones longitudinales, distancias transversales y velocidades. Todo ello contribuirá a mejorar la seguridad en la navegación.

**SÉPTIMA SESIÓN**

**REFLEXIONES SOBRE LA RELACIÓN  
DEFENSA-UNIVERSIDAD**

## REFLEXIONES SOBRE LA RELACIÓN DEFENSA-UNIVERSIDAD

Por ANTONIO LÓPEZ GARCÍA

He sido invitado a dar una conferencia sobre el tema Universidad-Defensa. Soy el presidente del Consejo Social de la Universidad Complutense de Madrid, es decir, del instrumento institucional que se creó para favorecer las relaciones Sociedad-Universidad y cuya formación se extrae de aquella para traer a ésta opiniones e intereses de aquella, controlando el destino de los fondos públicos y privados que se aplican a la financiación de las operaciones de la Universidad.

Vaya pues por delante que desde mi posición y dado mi reciente nombramiento, no sólo no soy un experto sino que desde mi limitado conocimiento del tema no puedo sino aportar la opinión de un hombre de la calle más conocedor del mundo de la empresa que del de la Universidad. Trataré, por tanto, temas que quizás estén resueltos o que hayan sido tratados por ustedes en repetidas ocasiones desde su condición de expertos en la materia. Disculpen pues mi osadía.

Vivimos un momento en el que la sociedad parece haber perdido la conciencia de la necesidad de una organización de Defensa Nacional con aportación ciudadana. Queremos mantener una posición de cierto liderazgo en el concierto mundial sin que esta posición se corresponda con unos costes y un presupuesto en materia de defensa paralelo a nuestra posición económica. Es frecuente oír peticiones de reducción de los gastos de defensa en favor de la satisfacción de otras necesidades sociales que se juzgan prioritarias. La mayor aportación que se espera de nuestras Fuerzas Armadas es

la contribución a misiones de paz de carácter internacional en países donde se han provocado conflictos de naturaleza nacional o internacional de los que nosotros nos sentimos inmunes. En general nuestra contribución esperamos que consista en acudir a los lugares de conflicto cuando éste ya haya sido controlado por otros países como Estados Unidos, Inglaterra, Francia o Italia que han aportado con anterioridad sus Fuerzas Armadas o su potencia bélica. Contribuimos así a una tarea paralela a la de nuestras organizaciones no gubernamentales. Pero queremos que nuestro peso internacional sea homologable al de estos países, que consideramos «belicosos» y no vemos necesario contribuir al paralelismo entre posición de liderazgo mundial en el terreno económico y organización de Defensa Nacional.

Nos consideramos a salvo de conflictos internos y no reconocemos ningún enemigo externo que pueda perturbar nuestra paz nacional.

Pero ¿es esto realmente así? ¿Se pueden mantener unas Fuerzas Armadas cuya potencia no sea homologable con la posición económica del país al que sirven? A ustedes corresponde la respuesta y a los políticos expertos en defensa la generalización de una cultura conocedora de las respuestas a estas preguntas. Pero en todo caso conviene apuntar el hecho de que será difícil una Europa que acepte una integración en la que la contribución a una defensa común no corra paralela con la posición económica del colectivo del que se trate y con su posición en el *ranking* de poder.

Respecto a la existencia o no de enemigos inmediatos, yo tampoco tengo la respuesta pero apunto a que la defensa de intereses económicos, ligados al bienestar de nuestros ciudadanos, puede requerir cuando menos de un poder militar capaz de hacerlos valer si se producen posiciones más o menos arbitrarias en el concierto mundial atentatorias a los mencionados intereses.

Parece que nuestra sociedad nos ve tan claramente alineados con los países económicamente poderosos, que espera que éstos se ocupen de defender su economía y la nuestra resulte inevitablemente unida a la suya y a su bienestar. Pero ¿van a permitir esos países que nuestra colaboración en términos de defensa de intereses no sea proporcional al beneficio a obtener? O en otras palabras ¿nos van a permitir obtener pingües beneficios con una inversión sin riesgo?

La política democrática actúa en función de los intereses y las opiniones de los ciudadanos pero los gobiernos no pueden desatender su tarea de conformadores de la opinión y de formadores de la sociedad y de modo

muy particular estas tareas están siendo desatendidas. El último debate que recordamos abierto para tratar estos temas fue el referéndum de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) el día 12 de marzo de 1986, en que pese a las posiciones iniciales de la opinión pública, los líderes políticos marcaron una clara tendencia de la que consiguieron convencer a la masa social española. Desgraciadamente el debate concluyó con el referéndum y pese a que de él se derivaron nuevas tareas para la Defensa Nacional, el desarrollo posterior no ha sido ni rico en posiciones intelectuales ni se ha prolongado en una sensibilización nacional en cuanto a necesidades de nuestra defensa.

Así, atendiendo a una demanda social insistente liderada por los movimientos de objetores de conciencia y de insumisión no se ha desarrollado un movimiento intelectual paralelo de conducción de la sociedad hacia una conciencia clara de su necesidad de defensa. En esas condiciones se ha llegado a la supresión del servicio militar obligatorio, de honda tradición en España, sin abrir un debate paralelo sobre costes económicos y sociales que la decisión implica, por no disponer de un modelo claro y aceptado socialmente de nuestro papel internacional o nacional en materia de defensa. Hemos satisfecho la demanda social activa pero ¿con qué se sustituye el papel vertebrador y de movilidad geográfica de nuestros jóvenes dentro del territorio español? ¿Cómo conseguiremos que determinados territorios autonómicos contribuyan en medida proporcional a su población, a la Defensa Nacional? ¿Podemos permitirnos el que la Defensa Nacional se realice sólo con la contribución de la población de algunos de nuestros territorios autonómicos?

Si no se generan movimientos sociales centrípetos, la desunión generada por los elementos centrífugos acabará por ser un problema nacional al que más vale aplicar medidas preventivas, si no se quiere desembocar en una incógnita de difícil solución. La vertebración social requiere la generación de tareas colectivas y culturas nacionales que incorporen a la totalidad de los ciudadanos a dichas tareas y dos de los elementos que pueden claramente contribuir a estas tareas nos reúnen hoy en torno a estas reflexiones: la Defensa Nacional y la Universidad.

Me queda un último punto de reflexión sobre la defensa que paso a exponer aunque su obviedad casi lo hace innecesario: la tecnificación de los elementos utilizados en la defensa. Hoy los ejemplos conocidos, públicamente, tanto ofensivos como defensivos de los ejércitos muestran un nivel tecnológico ciertamente espectacular. Los niveles de tecnología aplicados

hacen que la precisión en la visualización, localización y seguimiento de un objetivo militar tenga unos niveles de error prácticamente nulos. A ello se aplican tecnologías de todo tipo de saberes que hacen del conocimiento de estas tecnologías un elemento estratégico de primer orden no ya sólo para el desarrollo y la investigación de nuevos productos inasequibles incluso para países muy desarrollados, sino para la operación de los mecanismos que utilizan tan sofisticadas tecnologías. Operación, esa sí, al alcance de países desarrollados.

Dentro de ese esquema de tecnología avanzada para la utilización de la defensa en sentido estricto, juega un papel no menor la tecnología avanzada de aplicación estrictamente civil pero cuya utilización es absolutamente necesaria en casos de emergencia nacional: redes civiles de telecomunicaciones e informática.

Establecidos pues algunos elementos de reflexión sobre la defensa pasemos también sobre los elementos de que la Universidad dispone para contribuir a resolver de modo positivo los elementos de conflicto planteados.

La Universidad tiene en principio cuatro características cuya utilización correcta colaboraría en la solución de los desequilibrios citados:

1. Capacidad de vertebración social.
2. Capacidad de generación de estados de opinión y sensibilidad social.
3. Congregación masiva de jóvenes.
4. Conocimiento y generación de tecnologías punta.

La reciente recuperación del distrito único establece de nuevo la posibilidad de cruzamientos y movilidad entre distintas zonas de España con especial incidencia en las universidades de vocación tradicional universalista, valga la redundancia, como Complutense, Salamanca, etc.

La tan traída y llevada endogamia universitaria plantea de hecho muchos menos problemas en la Universidad y en la formación de alumnos, de los que realmente se le atribuyen, pero su ruptura y la creación de órganos nacionales de evaluación, así como la movilidad geográfica son la contribución que paga la Universidad en la generación de una mayor permeabilidad social entre comunidades autónomas. Como este discurso no es considerado «políticamente correcto» el debate ha derivado por territorios estrictamente internos lo que ha impedido valorar la potencial capacidad integradora de una situación de este tipo.

La Universidad viene derivando en los últimos tiempos hacia una cierta tecnificación de la formación de jóvenes en la que ha cumplido, a mi jui-

cio holgadamente, su cometido, dando respuesta a la demanda de la sociedad de ciudadanos mejor formados y homologables en sus conocimientos a los de los países más avanzados del mundo. Si en algo su papel ha sido menor en los últimos tiempos, ha sido en su vertiente de liderazgo de opinión y de formación de ciudadanos consciente de sus responsabilidades como integrantes de un sistema social. Es en este papel en el que la Universidad puede concienciar a futuros líderes de opinión de las necesidades del colectivo al que se dirige y es ahí donde se debe romper el aislamiento tradicional de los representantes de la defensa, para hacer llegar a los ciudadanos la necesidad de una mayor sensibilidad a las tareas que tienen encomendadas.

Poco espacio es necesario destinar a mi juicio a señalar el hecho de que la universidad es el mayor espacio de concentración de jóvenes formados de que dispone la sociedad española. Es obvio que cualquier organización interesada en su captación dispone en ella de un interesante punto de concentración donde la generación de una buena imagen debe tener un carácter prioritario si se pretenden canalizar vocaciones o intereses. A tal fin, una presencia sistemática en seminarios y titulaciones de tercer ciclo y una generación de atractivos con carácter general, así como una sistemática información desde el Centro de Orientación e Información del Empleo, pueden facilitar la orientación de licenciados hacia tareas relacionadas con la defensa.

Valga como último elemento de reflexión la necesidad de captar investigaciones destinadas a sus fines y tecnólogos capaces de dominar las tecnologías de vanguardia. En tal sentido quiero señalar como parte de mi experiencia profesional que los trabajos de investigación en la empresa sirven no sólo para generar nuevos conocimientos, sino que mantienen, incluso en el peor de los casos en que la investigación no obtenga los resultados apetecidos, un excelente vivero de técnicos capaces de asimilar las tecnologías emergentes. Se produce de hecho la circunstancia de que el operador de un equipo suele indentificarse de tal modo con él en su trabajo diario, que suele desatender su formación en tecnologías emergentes que se incorporan para cumplir la misma función. El mejor modo de mantener un espíritu tecnológico innovador y de atender la continua oferta de tecnologías emergentes es mantener centros de investigación y desarrollo o fomentar los contratos de investigación no sólo como fin en sí mismo, sino como modo de generar formación avanzada para ser difundida y luego asimilada por la organización que pretende mantenerse viva.



Cito este extremo porque considero que una intensa colaboración Universidad-Defensa en temas de investigación generará además de una imagen positiva de la Defensa en la Universidad, una excelente cantera de licenciados capaces de asimilar las tecnologías emergentes.

Creo que debo cerrar estas reflexiones con algunas ideas que corren el riesgo de ser las de un recién llegado a la universidad con el ampuloso objetivo de representar a la sociedad. Hay una primera posición que resulta evidente: el Consejo Social representa en la Universidad a la sociedad y así tienen presencia en él profesores, alumnos, personal de administración y servicios, sindicatos, organizaciones empresariales, municipios y parlamentos autonómicos. En definitiva una apretada síntesis de la sociedad civil. ¿Sería desacertado incluir, bien a la institución de la Defensa Nacional o, a candidatos ligados a ella entre los miembros de dichos Consejos? En sentido opuesto ¿sería también conveniente adecuar las estructuras de los centros de formación de la defensa a las de nuestras universidades?

En términos no interrogativos considero conveniente montar titulaciones de tercer ciclo sobre temas relacionados con la Defensa, así como la firma de convenios de colaboración entre centros educativos que intensifiquen las tareas de interrelación Defensa-Universidad y que intenten generar en la sociedad civil el sentimiento de que la defensa es una tarea que dirigida por expertos debe ser compartida por la sociedad.

Déjenme ustedes terminar mis reflexiones con una última pregunta. Estamos en pleno alumbramiento de una nueva Ley de Educación Universitaria como respuesta política a los llamados «nuevos tiempos». ¿No será quizás tiempo también para una ley de Defensa Nacional que dé respuesta a las nuevas situaciones?

## OCTAVA SESIÓN

**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN  
(I+D+I) EN LA INGENIERÍA DE SISTEMAS.  
(LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN  
Y DESARROLLO (I+D)  
EN EL EJÉRCITO DE TIERRA)**

**INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I)  
EN LA INGENIERÍA DE SISTEMAS.  
(LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (I+D)  
EN EL EJÉRCITO DE TIERRA)**

Por RICARDO TORRÓN DURÁN

### **Introducción**

Esta conferencia analiza los aspectos relacionados con los programas de Investigación y Desarrollo (I+D) en el ámbito del Ejército de Tierra.

Se ha organizado en siete epígrafes: en el primero se expondrá la política de I+D del Ministerio de Defensa y la evolución del presupuesto y sus repercusiones. A continuación se presentarán los responsables del I+D dentro de Defensa. Seguidamente se explicará la secuencia de los programas de I+D y un calendario deseable. Nos centraremos después en la ejecución de los programas de I+D explicando el ciclo de vida de un sistema, sus fases y sus consecuencias sobre los programas de adquisición bajo la óptica de la Ingeniería de Sistemas. Se prestará atención especial a los cometidos del personal clave en los programas. Presentaremos, a continuación los programas actuales y recientes de I+D del Ejército. Finalmente se cerrará la conferencia con una conclusión sobre la problemática que se expone en la misma, destacando la necesidad del enfoque que proporciona la Ingeniería de Sistemas.

Durante el desarrollo de la conferencia se va a hacer referencia siempre a programas de I+D de ámbito nacional del Ejército de Tierra. Las particularidades que acompañan a un programa de cooperación internacional no entran dentro del alcance de esta ponencia.

## Política I+D en Defensa

Antes de explicar cual es la política de defensa en I+D conviene precisar estos términos. Es difícil encontrar en la literatura una definición de los mismos. Blanchard, en su *System Engineering and Analysis*, nos ofrece algunas definiciones que debemos tener presente a lo largo de la conferencia:

- La «investigación básica» tiene como objetivo un conocimiento más completo o la comprensión del tema bajo estudio sin exigir un enfoque práctico.
- La «investigación aplicada» se orienta a conseguir el conocimiento y comprensión necesarios para determinar los medios con los que se puede satisfacer una necesidad específica y reconocida.
- El «desarrollo» es el uso sistemático del conocimiento y comprensión obtenidos de la investigación para la producción de materiales, dispositivos, sistemas o métodos útiles, incluidos el diseño y desarrollo de prototipos y procesos.

La importancia de las actividades de I+D en el ciclo de vida de un sistema lo demuestra el porcentaje de ingenieros y científicos que se dedican a ellas. En Estados Unidos, el 41% de los científicos se dedican a la investigación aplicada y al desarrollo. Además, la proporción de recursos que se les dedica es del 86% frente al 14% destinados a la investigación básica.

Los «objetivos de los programas de I+D» los encontramos en la *Norma para Proyectos de I+D* (referencia H, p. 180), que los define como:

1. Obtención de nuevas armas, equipo o material de guerra con los siguientes condicionantes:
  - No poder ser adquiridos directamente a la industria por no existir o no ajustarse a los requisitos del Ejército.
  - La duración de su ciclo de vida esperado está entre 20 y 30 años.
2. Modificar el material actual para optimizar sus prestaciones, siempre que se mejore la relación eficacia-costo.
3. Estudiar nuevas áreas tecnológicas sobre las cuales no haya experiencia previa pero que son de utilidad previsible para los ejércitos: poner en práctica nuevos conceptos tácticos, logísticos o de instrucción y adiestramiento mediante el diseño de nuevos materiales o la adaptación de los existentes.
4. Mejorar la eficacia en las funciones de instrucción, abastecimiento, mantenimiento, etc.

El logro de estos objetivos presenta dificultades de diverso orden. La principal y más grave es la limitación en la dotación presupuestaria. En los últimos años, el Ministerio de Defensa ha reducido su inversión en el I+D como se mostrará más adelante. Para reducir sus efectos, durante la última legislatura, las «directrices» han sido:

- Se ha disminuido la atención a la investigación básica y aplicada para aumentarla en actividades de desarrollo.
- Se ha potenciado la capacidad tecnológica mediante el incremento de recursos a programas nacionales y disminución de los programas internacionales.
- Se ha mantenido el interés por equipar los laboratorios de investigación al mismo tiempo que se ha procurado racionalizar y optimizar el aprovechamiento de los recursos.
- Se han favorecido aquellas tecnologías de doble uso civil y militar.

Por otra parte, el Plan Director de I+D (PDID) del Ministerio de Defensa (referencia T, p. 181) elaborado el año 2000, pero aún no implantado, concreta sus «finalidades» en las siguientes:

- Dotar a las Fuerzas Armadas con los sistemas de armas y equipos con el nivel tecnológico y características que exigirán sus futuras misiones.
- Preservar y fomentar, en lo posible, la base industrial y tecnológica de la nación, dedicada a Defensa.

Todo ello en coherencia con los objetivos y principios generales del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003, donde Defensa es una de las 12 áreas sectoriales que en el mismo se contemplan.

El PDID no trata sobre sistemas de armas, sino sobre las tecnologías necesarias para tales sistemas, y bajo los criterios de eficacia, eficiencia y flexibilidad propone como líneas de acción:

- Que sea la Dirección General de Armamento y Material (DGAM) la responsable única de la dirección de las actividades de I+D en Defensa. Aunque así es por la actual normativa, la amplitud y complejidad del Plan exigirá un refuerzo de la capacidad actual de la DGAM y de su Subdirección General de Tecnología y Centros (SDG INSERT).
- Concentrar el esfuerzo presupuestario en un número limitado de tecnologías de entre las que el Plan considera, y definir así la distribución de los créditos que resultan insuficientes.
- Coordinar las inversiones y política general de I+D con las propias de las adquisiciones, que vienen recogidas en los documentos que for-

- man el Plan Director de Armamento y Material (PDAM), recogido en la Directiva 291/99 de la Secretaría de Estado de la Defensa (SEDEF).
- Dar preferencia a la investigación aplicada sobre la básica, como ya estaba establecido.
  - Insistir en la reducción de costes con la utilización de Productos Comerciales (COTS), en la medida de los posible, tecnologías duales, normativa civil ya existente, etc. (En la línea sugerida por el MIL-HDBK-502 *Manual Militar* estadounidense) (referencia V, p. 181).
  - Fomentar en lo posible las cooperaciones con la Universidad, la empresa y las internacionales, en particular en el seno del Grupo de Armamento de Europa Occidental (GAEO).

### *Evolución del presupuesto de I+D*

El cuadro 1 presenta la inversión en I+D (en miles de millones) para armamento y material durante los últimos años.

El cuadro es elocuente en dos aspectos:

1. El Programa EFA absorbió del 65% de la inversión total en los últimos años.
2. Se reestructura y reactiva el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).
3. Escasas inversiones dedicadas a los programas dirigidos por la DGAM. Estos engloban los correspondientes a los cuarteles generales y al Órgano Central.

**Cuadro 1.** *Inversión en I+D para armamento y material, en miles de millones.*

Años	EFA	DGAM	INTA	CEHIPAR	TOTAL
1990	17.494	7.136	2.819	313	27.762
1991	28.563	5.434	4.879	331	39.207
1992	32.300	5.624	8.661	300	46.885
1993	23.099	4.948	8.613	297	36.957
1994	20.881	5.907	7.759	261	34.808
1995	23.329	6.228	7.723	267	37.599
1996	21.500	5.995	6.723	267	34.485
1997	23.702	4.590	5.225	179	33.696
1998	25.539	4.590	5.379	179	35.687
1999	15.204	13.718	7.296	207	36.425
<i>TOTAL</i>	<i>231.611</i>	<i>64.222</i>	<i>65.077</i>	<i>2.601</i>	<i>363.511</i>

Los 17.134 millones de pesetas invertidos en programas de I+D durante los años de la legislatura 1993-1996, y que fueron dirigidos por la DGAM, se desglosan de la siguiente manera, expresado en porcentaje:

- Ejército: 29,6.
- Aire: 5,4.
- Armadas: 32,44.
- Órgano Central: 32,56.

Asimismo, de los anteriores 17.134 millones de pesetas, el 77,61% fueron destinados a programas nacionales.

Para terminar esta breve introducción se presente el desglose por áreas tecnológicas, cuadro 2.

**Cuadro 2.** *Desglose por áreas tecnológicas.*

Áreas	Porcentaje
Comunicaciones y guerra electrónica	18,66
Defensa Nuclear, Bacteriológica y Química (NBQ)	0,46
Detección y ayuda a la navegación	9,46
Gestión y cooperación tecnológica	8,89
Misiles y cohetes	11,19
Municiones, pólvoras y explosivos	3,03
Optrónica, láser e infrarrojos	2,11
Mando y control. Simuladores	20,05
Sistemas de armas	7,14
Vehículos de combate	10,01

Se observa como las denominadas Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) se llevan más de la mitad de los créditos disponibles, pues bajo ese epígrafe TIC están: comunicaciones y guerra electrónica, detección y ayudas a la navegación, optrónica, láser e infrarrojos, mando y control y simuladores.

El PDID, ya citado, usa como taxonomía de las tecnologías que abarca el Plan, la aceptada en el marco del GAEO. Distingue 11 áreas tecnológicas calificadas como «capacitadoras» y 16 como «orientadas a sistemas» (tanto de unas como de otras la mitad, al menos, son tecnologías TIC).

Estas cifras nos permiten situarnos en el «escenario». El centro de atención de esta conferencia supone lo expresado en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** *Gastos de I+D de Defensa.*

Años	Porcentaje de I+D	Porcentaje de I+D de DGAM
1990	4,98	0,82
1991	5,49	0,63
1992	6,10	0,71
1993	4,40	0,56
1994	4,19	0,77
1995	4,33	0,72
1996	3,96	0,69
1997	3,87	0,53
1998	4,24	0,55
1999	3,92	1,48

De los gastos de defensa (Francia dedicó en el año 1993 el 16,6% de los gastos de defensa al I+D). No es el objeto de esta conferencia cuestionarse si hay o no política de I+D en Defensa. Nos centraremos, más bien, en el destino de dichas inversiones y en el procedimiento de su gestión.

### **Responsables del I+D dentro de las Fuerzas Armadas**

En el año 1985 el Ministerio de Defensa, acometió un esfuerzo de racionalización de las decisiones de orden económico en función de las necesidades y de las disponibilidades previstas de recursos de todo tipo. El primer documento fue la Directiva de Programación (referencia C, p. 180) aprobada el 28 de octubre de ese año. El día 28 de enero del año 1986 se difundieron las *Normas de Desarrollo de la Directiva de Programación* (referencia C, p. 180). En este documento se definen y asignan las funciones implícitas a un programa:

- «Función de planeamiento» que corresponde a los estados mayores. Éstos elevarán la oportuna propuesta de objetivos (*Memoria justificativa*) para su aprobación.
- «Función de programación» que corresponde a los estados mayores oídos los órganos ejecutivos. Aquellos elevarán la directiva de programa para su aprobación así como todos los documentos contractuales (*Pliegos*).
- «Función dirección y ejecución» correspondiente a los organos ejecutivos que llevará a la realización de los objetivos definidos siguiendo el programa aprobado.



— «Función presupuestaria» que corresponde a los órganos económicos que formulan los presupuestos para su realización.

En la actualidad las funciones principales que acompañan a cualquier programa de I+D están asignadas de la manera siguiente:

1. Las funciones de los estados mayores son las de «planeamiento» mediante la elaboración de las Memorias de los programas y, parcialmente compartida con la Dirección General de Tecnología y Centros (SDGTCEN), la de programación mediante la redacción de la directiva del programa.
2. El Real Decreto 764/1992 (referencia I, p. 180) que modifica el Real Decreto 1/87 en el que se establece la estructura orgánica del Ministerio de Defensa, designa a la SDGTECEN los cometidos de proponer, promover y gestionar los planes y programas de I+D de sistemas de armas y equipos de interés para la Defensa Nacional. Se le asigna pues la función primaria de «programación» y, secundaria de «gestión».
3. La Orden 45/1985 (referencia B, p. 180) asigna a la DGAM las «funciones ejecutiva y presupuestaria» de los programas de I+D.

La siguiente transparencia nos ofrece los términos en que ha sido definida la responsabilidad de la ejecución de los programas de I+D.

Por último, dentro de los estados mayores se asigna a las respectivas División de Logística (DIVLOG) la responsabilidad del planeamiento y programación del I+D.

## **Secuencia de un programa de I+D**

Debido a la variedad de áreas que pueden ser objeto de I+D, y la ausencia de una normativa, cada programa sigue una secuencia, metodología y procedimientos particulares. No obstante, todo programa de I+D debería seguir la siguiente secuencia.

### **a) Necesidad y elaboración de la *Memoria justificativa*:**

Una vez detectada una necesidad, el correspondiente estado mayor (DIVLOG), elabora un documento de necesidad de misión y crea un equipo de trabajo para la redacción de la *Memoria justificativa*. *Norma para los Proyectos de I+D* (referencia H, p. 180), aunque sólo sea un borrador, establece el procedimiento que se sigue para la redacción de los distintos epígrafes de dicha *Memoria*.

El conjunto de ellas se remite al Estado Mayor Conjunto (EMACON), (DIVLOG) donde se integra con el presentado por otros ejércitos dando a cada programa cierta prioridad según los planes logísticos establecidos en la política de defensa. El SEDEF recibe la propuesta definitiva. Ésta se integra con las necesidades de I+D de la DGAM y presentada al ministro para su aprobación.

b) Aprobación de la directiva del programa:

Tras su aprobación y reserva de asignación económica, el órgano ejecutivo DGAM procede al nombramiento de un jefe de programa propuesto por el correspondiente Estado Mayor entre los jefes que redactaron la *Memoria justificativa*. Al mismo tiempo se nombra un director técnico, también en el ámbito del órgano ejecutivo, y un responsable del órgano gestor SDGTECEN. Esta pequeña comisión, que internamente hemos denominado comisión de programación, ayudada por el personal que el jefe de programa considere necesario, elaborará la directiva del programa que presentará al DGAM vía SDGTECEN para su aprobación.

La directiva del programa es el documento en el que se aporta la información y los criterios básicos a que habrán de ajustarse la ejecución y seguimiento del programa. Contendrá, además de los objetivos, calendario de ejecución y cuadro de financiación estimada del mismo.

c) Convocatoria de la ejecución del programa:

Una vez aprobada la directiva del programa por el órgano ejecutivo, se procederá a ponerla en práctica mediante la redacción de los correspondientes *Pliegos de bases* para convocar a las empresas a un concurso para su ejecución. La Comisión de Programación evaluará las ofertas y propondrá a órgano ejecutivo (contratante) la firma del correspondiente contrato.

Algunos programas pueden ser desarrollados por los Centros de Investigación de Defensa, sin embargo, tales casos no serán analizados en esta conferencia.

d) Ejecución y seguimiento del contrato:

La citada Comisión, junto con un representante del Área de Inspecciones Industriales de la SDGININSERT de la DGAM se constituye como Comisión de Seguimiento (COMSE) del contrato bajo la autoridad del SDGTECEN, como autoridad delegada del contratante. Su cometido fundamental es velar por el cumplimiento en tiempo, precio y características de lo acordado en el contrato.

e) Recepción final:

Tras la presentación de los «entregables» acordados por la empresa y comprobado que reúnen las características exigidas por parte de la COMSE, se procederá a certificar la recepción final. Si los objetivos que se propusieron en la *Memoria justificativa* han sido satisfechos se procede a la finalización del programa de I+D. En caso contrario se continúa en el punto c para seguir con la siguiente fase definida en la directiva del programa.

f) Acciones posteriores al programa de I+D:

Todo programa que tenga por objetivo el desarrollo de un prototipo militar de un sistema o de un equipo podrá derivar en un programa de adquisición cuyo órgano contratante, en la mayoría de los casos, son las correspondientes direcciones de los mandos logísticos de los Ejércitos. Esta circunstancia recomienda que el paso de un programa de I+D a uno de adquisición se lleve a cabo sin discontinuidades.

*Calendario de actividades de las etapas A, B y C*

Las siguientes transparencias muestran la secuencia de las actividades de estas tres etapas y el diagrama de GANTT correspondiente.

El año A es el año de inicio del Programa de I+D. Para iniciar un programa de I+D en el año A, es necesario empezar el mes de mayo del año A-2.

De modo resumido, las actividades más importantes hasta la contratación del programa son:

1. EMACON. Solicita a los cuarteles generales la propuesta de I+D para su inicio en el año A.
2. Acopio de necesidades en I+D por DIVLOG.
3. Creación de equipos de trabajo para las necesidades de I+D seleccionadas.
4. Redacción de las *Memorias justificativas* de los programas a iniciarse en el año.
5. Elevación de *Memorias justificativas* a DIVLOG. para su aprobación.
6. Remisión por los cuarteles generales de las propuestas a EMACON.
7. Reunión de los diferentes jefes de Logística y Coordinación y Planes en EMACON.
8. JEMAD remite necesidades de defensa a SEDEF con prioridades y orientaciones. Al mismo tiempo, DGAM remite sus necesidades.

9. SEDEF tras realizar las consultas necesarias con el jefe de Estado Mayor de la Defensa, remite propuesta al Ministerio de Defensa reserva de presupuesto.
10. Confirmación de los programas aprobados.
11. Nombramiento de los jefes de programas, directores técnicos y componentes de la comisión de programación. Primera reunión de la comisión de programación.
12. Redacción de la directiva del programa.
13. Aprobación de la directiva.
14. Redacción del *Pliego de bases*.
15. Aprobación del *Pliego de bases*.
16. Petición de ofertas.
17. Presentación de ofertas.
18. Evaluación y adjudicación.
19. Firma del contrato.
20. Comienzo del programa. Nombramiento del Responsable del Aseguramiento de la Calidad (RAC). Constitución de la COMSE.
21. Seguimiento según la directiva del programa.

En el PDID se reconoce que esta secuencia de actividades no se adapta bien a las directrices en él recogidas y propone que el esquema anterior sea sustituido por otro análogo al existente en el PDAM.

Ello implicaría que el PDID incorporase dos programas: el Programa Anual de I+D (PAID), en donde se incluirían todos los programas de I+D financiados por Defensa y el Programa Anual de Contratación de I+D que recogería todos los expedientes de I+D a contratar en el año siguiente.

Asimismo se simplificaría el mecanismo de selección de los programas de I+D que se incluyan en el PAID.

## **Ejecución de los programas de I+D (etapas D y E)**

### *Ciclo de vida de un sistema en la Ingeniería de Sistemas*

El punto inicial de un sistema es una necesidad; el punto final es su declaración de inutilidad para el servicio. Entre ambos extremos, el sistema evoluciona por diferentes etapas que básicamente podemos descomponer en: necesidad, I+D, producción-adquisición y empleo del sistema. El objetivo de todo proyecto es disponer de productos fiables, eficaces, con calidad, realizados en menos tiempo, con un mejor apoyo logístico.

Tradicionalmente los técnicos nos hemos centrado en la fase de I+D y producción buscando conseguir las características deseadas pero sin tener en cuenta la globalidad del «ciclo de vida» y los factores económicos que le acompañan. Los ingenieros deben ser sensibles al resultado operativo (empleo) desde las etapas iniciales. Este nuevo enfoque se ha despreciado en el pasado. Actualmente lo considera, con carácter primordial, la Ingeniería de Sistemas.

### *Metodología*

A partir del año 1979, la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) inició un proceso de revisión cíclica para conseguir la interoperabilidad y normalización de los futuros sistemas de defensa de la Organización en las áreas en las que los planes nacionales divergen. Como consecuencia de esta iniciativa surgieron diversos problemas debidos a la falta de disciplina en el proceso de información de los programas de colaboración. Para solucionarlos, se elaboró el documento del Sistema de Programación Periódico del Armamento (PAPS).

El objetivo global del PAPS es proporcionar un marco sistemático, coherente y flexible que facilite los programas de cooperación, basándose en unos requisitos tácticos y técnicos armonizados. El procedimiento se base en dos principios: el reconocimiento de la soberanía de cada nación en las decisiones de su armamento y el uso de la estructura de la OTAN al mismo tiempo que se establecen relaciones, cometidos, tareas a lo largo del proceso. La filosofía del concepto PAPS es la definición de un número de hitos (ocho) que enmarcan siete fases en la vida de un sistema de armas. El PAPS aporta un enfoque estructurado para ayudar a los equipos de gestión a tomar las decisiones de cada hito tanto en los programas de I+D cooperativos como en los programas de producción dentro de la OTAN.

Además de concepto PAPS de aplicación en programas internacionales (OTAN, GAEO, etc.), se emplea, desde 1969, por los Ministerio de Defensa de los países occidentales el proceso derivado de la norma MIL-STD-499, *Engineering management* (Norma Militar estadounidense). Su objetivo es ayudar al personal perteneciente a la Administración y al contratista en las tareas de ingeniería de sistemas asociadas a los programas de adquisiciones de los respectivos Ministerios de Defensa. Esta Norma se actualizó en el año 1974 y es la base para la aplicación actual de los principios de Ingeniería de Sistemas a los programas nacionales de equipamiento.

(No obstante, la tendencia actual en Estados Unidos es una mayor flexibilidad en cumplimiento de la Organización Internacional de Organización (ISO) 15.288 (referencia M, p. 181).

En nuestro Ministerio de Defensa, desde la Directiva 68/2000 (referencia R, p. 181), por la que se regula el proceso de la obtención del armamento, se ha escogido como marco de referencia la metodología PAPS.

Sea cual fuere el sistema secuencial a considerar, el contenido de las seis fases siguientes es común a todos ellos y constituyen el ciclo de vida que considera la Ingeniería de Sistemas. I+D:

1. Análisis de la misión
2. *Análisis de alternativas*
3. *Selección y validación de la alternativa (definición)*
4. *Fase de diseño y desarrollo*
5. Fase de producción
6. Fase de operación

Las fases propias de I+D son la 2, 3 y 4.

#### NECESIDAD. ANÁLISIS DE LA MISIÓN

El ciclo de vida de un sistema comienza con la «Necesidad existente». Ésta es identificada tras un «Análisis de la misión». Las deficiencias en la capacidad ofensiva o defensiva llevan a establecer unos requisitos que deben satisfacerse con el sistema final. El análisis de la misión tiene en consideración la política en Defensa Nacional, la amenaza futura y las capacidades tecnológicas actuales. Este análisis debe considerar si hay alguna opción que no sea realizar un nuevo desarrollo. En ocasiones, la reasignación de recursos existentes o el empleo de sistemas comerciales o nuevos planteamientos tácticos pueden ser la solución. El resultado de este estudio es un documento que define las necesidades en forma de «requisitos operativos-técnicos-logísticos» para satisfacer una misión. Este documento permite redactar la *Memoria justificativa* para el Programa de I+D, si las correspondientes DILOG de los estados mayores estiman que la vía de provisión es a través de un programa de I+D.

Una vez aprobada la iniciación del programa, autorizado el presupuesto para este programa (I+D, adquisición y mejora), convocado un concurso y firmado el contrato, se inicia propiamente el proceso de I+D.

#### I+D. FASE DE VIABILIDAD

Seguidamente, el programa entra en la fase de viabilidad. En esta fase se estudian los «conceptos alternativos» que se consideran viables para satisfacer la necesidad dada.

El ingeniero de sistemas de la industria, trabajando con los organismos de I+D del Ministerio de Defensa, identifica todas las alternativas razonables que puedan satisfacer la necesidad de misión y hace recomendaciones a la oficina del programa. La jefatura del programa selecciona aquellas alternativas (conceptos) que estima que cumplen los objetivos de costo, riesgo, puesta en servicio, prestaciones, etc.

Estos conceptos se pueden explorar mediante contratos de corta duración, en paralelo y de manera competitiva. En esta fase se inician los estudios de producción y del apoyo logístico.

#### I+D. SELECCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA ALTERNATIVA O FASE DE DEFINICIÓN

El objetivo en la fase de selección de la alternativa es identificar y analizar los diversos conceptos del sistema para examinar los riesgos de los subsistemas y determinar si ir a la fase de desarrollo.

Los resultados principales de esta fase se vuelcan normalmente en un documento de especificación validada del sistema denominado «requisitos de diseño», que determina sus funciones, así como un conjunto inicial de especificaciones de desarrollo de los subsistemas.

El proceso de Ingeniería del Sistema incluye el «análisis de optimización» que asegura que el sistema seleccionado satisface los requisitos funcionales con un equilibrio óptimo del costo del ciclo de vida, la planificación y la eficacia del sistema.

Se lleva a cabo el análisis del apoyo logístico para identificar y analizar las alternativas posibles para el sistema. La alternativa seleccionada debe documentarse en el Plan de Apoyo Logístico Integrado.

#### I+D. FASE DE DISEÑO Y DESARROLLO

La finalidad de esta fase es proporcionar la «documentación de diseño» necesaria para ir a la fase de producción, así como la documentación

sobre el apoyo logístico integrado. Para ello es necesario completar los detalles de diseño, demostrando que se cumplen los requisitos sobre fiabilidad, productividad, soportabilidad, capacidad de prueba y prestaciones. Es característico de esta fase la «evaluación continua del riesgo» haciendo uso de las medidas técnicas de las prestaciones y de los criterios para el control de costes.

En la fase de desarrollo se comprueba la eficacia operativa antes del despliegue mediante la experimentación con el sistema en su entorno operativo y de apoyo. Los resultados de las pruebas son evaluados en revisiones efectuadas por la COMSE para confirmar que el diseño del sistema está suficientemente maduro para proceder con las actividades de producción y logística con las que se inicia el uso operativo.

El resultado de la fase de desarrollo es un «diseño comprobado» que cumple los requisitos del contrato así como la documentación necesaria para cubrir en las fases de producción y operación. Incluirá las especificaciones del material, procesos y productos el Plan de Producción, el Plan de Apoyo Logístico Integrado, el Plan de Gestión del Ciclo de Vida y la petición de oferta para la fase de producción.

#### ADQUISICIÓN. FASE DE PRODUCCIÓN

El objetivo principal de la fase de producción es producir y entregar un sistema eficaz garantizando totalmente su mantenimiento a un coste mínimo. En una producción en la que hay que suministrar muchos elementos, la fabricación se lleva en dos etapas. La primera empieza con una producción a ritmo bajo de lotes iniciales de producto (*preserie*). Durante la segunda etapa, la cadencia incrementa hasta un ritmo productivo máximo (*serie*) como consecuencia de los cambios en la fabricación debido a las experiencias en el uso operativo, de las revisiones, inspecciones, pruebas y experiencia productiva.

#### EMPLEO. FASE DE OPERACIÓN

La fase de operación comienza con el despliegue del sistema y continúa hasta que queda fuera de servicio (que marca el final del ciclo de vida del sistema). Las actividades principales durante este periodo, incluye la introducción de «modificaciones y mejoras» productivas derivadas de su operación, así como el apoyo al sistema en servicio con elementos tales como herramientas, repuestos y documentos técnicos.



Las funciones de esta fase son llevadas a cabo por el usuario con el apoyo, en ciertas áreas, del productor o por los órganos logísticos del usuario.

*Consecuencias del I+D  
en los programas de adquisiciones*

Debido a que la función ejecutiva y contratante de los programas de I+D son responsabilidad de la DGAM y el proceso de adquisición del producto y del apoyo logístico correspondiente es normalmente responsabilidad de los mandos del Apoyo Logístico de los Ejércitos (MALE), surgen problemas de continuidad que impiden contemplar los diversos aspectos del ciclo de vida del sistema con que se va a dotar al usuario final.

Por ejemplo, debe recordarse que los «cometidos propios de la Dirección de Abastecimiento del Ejército» según la Instrucción General 3/1991, se centran en la:

«Adquisición de sistemas de armas y equipos (en sus diversas fases de investigación, desarrollo y producción)...»

Sin embargo, según lo dicho al hablar de los responsables del I+D en el Ministerio de Defensa se observa que en todo el proceso de un programa de I+D no participan las direcciones de los mandos del MALE, a pesar de ser los órganos ejecutivos para satisfacer las necesidades de armamento y material de los respectivos Ejércitos.

Por otro lado, en ningún momento debe olvidarse el «concepto sistémico» por el cual en cada programa de I+D, se analizan las implicaciones que puedan tener en todo el ciclo de vida (operativas, abastecimiento, mantenimiento, instrucción y enseñanza, plantillas, infraestructura, etc.) del sistema de armas. La obtención de un prototipo de sistema de arma es sólo la parte inicial (menos de un 20%) del ciclo de vida, sin embargo, su correcta ejecución tiene gran trascendencia en el resto de la vida del sistema.

Todas estas funciones son típicas de los MALE por todo ello, la presencia de los órganos logísticos del Ejército en las fases propias de I+D es imprescindible para la mayor eficacia de los recursos destinados a estos programas.

Uno de los objetivos de esta conferencia es poner de manifiesto la necesidad de que los órganos de apoyo a la fuerza respectivos asuman parte de la responsabilidad de la ejecución, gestión y control de los programas de I+D propios de cada Ejército.

Esta responsabilidad puede quedar garantizada si el jefe de programa se integra orgánica y funcionalmente dentro de la estructura de los mandos

logísticos, de manera similar a como lo están los jefes de programas de adquisiciones.

Desde hace unos años, los respectivos mandos logísticos han visto la necesidad de dedicar recursos humanos y materiales a las tareas de apoyo a los programas de I+D. Un caso particular, es la Subdirección de Sistemas (SDSIS) de la Dirección de Abastecimiento del MALE. En su estructura figura la Sección de Ingeniería de Sistemas una de cuyas finalidades es asumir el apoyo técnico, en las diferentes etapas de los programas de I+D, al jefe de programa, sin perjuicio de los proporcionados por el director técnico y el representante del órgano gestor.

### **Personal clave en un programa de I+D**

La exposición quedaría incompleta si no hiciera mención a los protagonistas de un programa I+D. Estos son:

- Jefe del programa.
- Director técnico.
- Director operativo.
- Representante del órgano gestor.
- Representante del área de inspecciones industriales.

Es fundamental para el éxito de los programas de I+D, que existan unas instrucciones claras para la actuación del personal implicado en ellos. La Directiva 68/2000 (referencia R, p. 181) ya citada, pretende llenar esta laguna, aunque a nuestro juicio, no lo hace de una manera completa.

#### *Jefe de programa*

El jefe de programa según la referencia C, p. 180, «tendrá los cometidos» de gestionar, dirigir y coordinar las acciones para el desarrollo del programa, tanto operativa como técnicamente, garantizando la correcta ejecución de las fases del ciclo de vida del sistema-equipo objeto del programa.

El jefe del programa será un oficial superior con experiencia en dirección de proyectos. Será nombrado por el DGAM a propuesta del jefe del Estado Mayor del Ejército. El nombramiento de los jefes de programa se hará tras la aprobación de la *Memoria justificativa*, es decir, al comienzo de la fase de programación.

Una vez efectuado el nombramiento, el jefe de programa quedará «encuadrado» orgánicamente en los MALE (en nuestro caso de la Dirección de

Abastecimiento (DIAB) del MALE y tendrá dependencia funcional de la DGAM a través del SDGTECEN.

#### *Director técnico*

El director técnico es el facultativo de la Administración que con la titulación adecuada y suficiente, se «responsabiliza» directamente de la comprobación y vigilancia de la correcta realización del contrato en sus aspectos técnicos, en particular de la gestión, coordinación y dirección técnica.

En los programas del Ejército, el director técnico será un oficial superior u oficial de Cuerpo de Ingenieros Politécnicos (CIP) elegido entre los ingenieros del órgano ejecutor y contratante (DGAM). Será «designado» por el DGAM a propuesta del SDGTECEN que previamente habrá consultado al jefe de programa. Dependerá orgánicamente, o en su defecto funcionalmente, del subdirector general de Tecnología e Investigación de la DGAM.

#### *Representante del área de inspecciones industriales*

«Ejercerá» la facultad de inspección-revisión de una manera directa y continua junto con el responsable del aseguramiento de la calidad. (Artículo 260 del *Reglamento General de Contratación del Estado*), velando por el cumplimiento del plan de calidad del proyecto e informará en la COMSE de cuantas desviaciones se presenten.

Será nombrado por el SDGINSERT entre los técnicos del área de inspecciones industriales tras la adjudicación del contrato. Su actuación se concreta en la fase de ejecución para garantizar el cumplimiento de la cláusula preceptiva sobre la inspección oficial de aseguramiento de la calidad. Sus cometidos se basan en la Orden Ministerial 65/1993, desarrollada por la Instrucción 39/1998 del SEDEF.

#### *Representante del órgano gestor*

El representante del órgano gestor será un oficial superior y oficial de las secciones de programas de la SDGTECEN. Será «nombrado» por su subdirector. Su «cometido» fundamental será velar por el cumplimiento de los trámites y gestiones administrativas del programa. Su nombramiento tendrá lugar en la fase de programación.

## Otros

### REPRESENTANTE DE LA SDSIS DE LA DIAB-MALE

Con el fin de garantizar la continuidad entre los programas de I+D y de adquisición de manera que se asegure que se tiene presente el ciclo de vida del sistema, se ha propuesto la incorporación, en las diversas comisiones de I+D, de personal de la SDSIS-DIAB. De esta manera la SDSIS se convierte en el único organismo que está presente en todas las fases de la vida del sistema: planificación, programación, ejecución, adquisición, soporte, etc.

Sus «cometidos derivan» de su pertenencia a la SDSIS de la DIAB cuya misión principal es velar por el enfoque sistémico que obliga a considerar todos los aspectos del ciclo de vida del sistema de armas.

El representante de la SDSIS será un ingeniero CIP experto en Ingeniería de Sistemas y, en particular, en la gestión de programas y en la problemática logística. Deberá ser «elegido» entre los ingenieros CIP que contribuyeron a la redacción de la *Memoria justificativa* del programa.

Su nombramiento será propuesto por el jefe del programa al MALE y comunicado a los organismos implicados en el programa.

Por otro lado, la dependencia orgánica de la DIAB, así como la del jefe de programa, recomienda que aquel asuma el «apoyo técnico» próximo a dicho jefe, complementando, nunca suplementando, el que proporciona el director técnico y RAC al programa.

### DIRECTOR OPERATIVO

En ocasiones, cuando la complejidad del programa lo «aconseje, se nombrará» un director operativo. Será un oficial superior u oficial de la especialidad relacionada con la materia del programa cuyo «cometido» fundamental será auxiliar al jefe de programa en todas aquellas actividades de dirección, gestión y coordinación de carácter operativo. «Dependerá» funcionalmente del jefe de programa.

### OFICINAS DEL PROGRAMA

Las oficinas del programa constituirán los «centros de coordinación» de toda la información sobre el programa para los organismos del cuartel general, del apoyo a la fuerza de Ejército, del Ministerio de Defensa y de otras entidades que puedan relacionarse con el programa.

Dado que el personal que participa en el programa, en particular en las fases de programación y ejecución, pertenecen a la DGAM o a la DIAB es recomendable que se establezcan dos oficinas del programa cuyos ámbitos de actuación son respectivamente DGAM y DIAM.

La importancia de las oficinas del programa es su «continuidad en fases posteriores» al I+D, debiendo en todo momento mantener la integridad del fondo documental. Este hecho justifica la existencia de una de las oficinas en la DIAB, que actuará independientemente de la que cree el órgano ejecutivo gestor.

La oficina del programa de la DIAB será el instrumento de actuación del jefe del programa y se constituirá en la SDSIS bajo la responsabilidad de su representante en el programa.

La oficina del programa de la DGAM dará apoyo administrativo, de consulta de la información, de custodia de la documentación, etc. en el ámbito de la DGAM para el programa. Se constituirá en la SDGTECEN y su responsable será el representante del órgano gestor.

## **Los programas de I+D dentro del Ejército**

A continuación, se procederá a describir los diferentes programas que han concentrado la atención de los organismos implicados en el proceso de I+D del Ejército durante los años 1998 y 1999.

### *Programas de I+D activos o de reciente finalización*

Durante el año 2001, Ejército de Tierra tiene activos los siguientes programas:

- Programa POST 2000. Es un Programa internacional cuyo objetivo es crear una arquitectura y un conjunto de normas comunes para asegurar que la próxima generación de sistemas de comunicación tácticas sea interoperables.
- Puesto de Mando del Grupo de Artillería de Campaña (PCGACA). Se pretende desarrollar un prototipo de puesto de mando de Grupo de Artillería de Campaña que permita planear, dirigir y coordinar sus fuegos.
- Simulador para Artillería de Campaña (SIMACA). Con este Programa se pretende desarrollar un simulador, en instalación fija, de los distintos órganos de una unidad que intervienen en el tiro de Artillería de Campaña como alternativa más viable y eficaz a los ejercicios de fuego real. Ha sido finalizado en 2001.

- Entrenador Universal de Misiles Portátiles. (UMP). Se pretende desarrollar un simulador-entrenador-evaluador que mejore el adiestramiento del operador de los misiles portátiles MILAN, TOW, MACAM, MISTRAL a un costo mínimo. Para conseguirlo se exige que los entrenados tengan en común la mayor parte de sus elementos. Ha sido también finalizado en el 2001.
- Centro de Operaciones de Artillería Antiaéreas Semiautomático Medio (COAAASM). Este Programa pretende desarrollar un prototipo de sistema de Mando y Control para Artillería Antiaérea a nivel grupo y división. Es la continuación del COAAAS ligero cuyo prototipo se terminó en el año 1997 y que está pendiente de adquisición.
- Sistema de Información de Superficie (SIS). Este Programa pretende desarrollar un sistema para el tratamiento de la información en lo que se refiere a la función de Inteligencia de un puesto de mando táctico de división y brigada.
- Sistema de Guerra Electrónica GESTA-TELEOKA. El Sistema podrá actuar en los variados escenarios en que está prevista la posible actuación de las fuerzas del Ejército de Tierra. En todos ellos se actuará en ambiente saturado de emisiones electromagnéticas cuya captura y proceso constituyen el objetivo del Programa.

### *Programas propuestos recientemente*

Por razones presupuestarias, algunos programas iniciados en estos últimos años, han tenido que ser cancelados a pesar de haber cubierto las fases de viabilidad y definición. Algunos ejemplos lo constituyen:

- Blanco Aéreo de Bajo Costo (BABAC). Con este Programa se pretendía simular el comportamiento de un avión de combate en ataque a baja y muy baja altura. Estos blancos son los elementos claves de la instrucción de los operadores de los sistemas antiaéreos basados en misiles: ASPIDE, ROLAND, MISTRAL y HAWK.
- Equipo de Apertura de Brechas con Explosivos (ABEX). Se pretendía desarrollar un prototipo que permitiera un paso expedito a través de un campo de minas mediante el empleo de explosivos aire-combustible. Además de los programas iniciados pero cancelados, se han propuesto en estos últimos años los siguientes, que han sido aceptados y están también siendo desarrollados en el año 2001.
- Centro de Simulación de las Fuerzas Aeromóviles del Ejército de Tierra (CESIFAMET). Se pretende desarrollar un centro capaz de acoger de

manera integrada los simuladores operativos de vuelo para los helicópteros HT-17 *Boeing Vertol CH-47 D Chinook* y el HT-21 *Eurocopter AS-332 B1/532 UL Superpuma*. En el futuro se deberá integrar en él, el simulador del helicóptero de ataque español.

- Combatiente futuro. Se pretende desarrollar un combatiente individual capaz de combatir y sobrevivir en el campo de batalla futuro, mediante la consideración del combatiente como un sistema y aplicar las herramientas propias de la Ingeniería de Sistemas para su optimización.
- Proyecto de altas prestaciones de 155 milímetros. Se pretende disponer de una familia de proyectiles que mejore los alcances y efectos de los actualmente conseguidos en el proyectil M-107.
- Vehículo de reconocimiento NBQ. Se pretende desarrollar un vehículo de ruedas que ofrezca la necesaria protección a su tripulación mientras comprueban la existencia de contaminación NBQ en el campo de batalla.
- Sistema lanzacohetes Segovia 2. Se pretende obtener un prototipo de lanzador sobre vehículo todo terreno de ruedas con sistema automático de carga por jaulas (de 15 cohetes) programador de disparo y navegador. Asimismo el cohete *Segovia* será de 30 kilómetros de alcance, con cabeza rompedora prefragmentada y dispersadora de munición (carga hueca y minas contracarro).
- Arma de demolición de ingenieros. Se pretende conseguir un arma capaz de conseguir la destrucción, voladura, inutilización o neutralización de vías de comunicación, pistas de aterrizaje, diferentes tipos de fortificaciones (centros de mando, comunicaciones).
- Familia del vehículo de combate de Infantería-Caballería *Pizarro*. Llevar a cabo las fases de viabilidad y definición de los prototipos de la familia *Pizarro* siguientes: portamorteros, contracarro, transmisiones, defensa aérea, recuperación, ambulancia y zapadores.

## Conclusiones bajo la óptica de la Ingeniería de Sistemas

La variedad de textos legales a los cuales nos hemos referido, la diversidad de enfoques y la ausencia de una normativa clara y concisa que encauce el esfuerzo del personal del Ministerio de Defensa, y en particular del cuartel general del Ejército, en materia de I+D, ha causado que la síntesis de un procedimiento para la gestión de estos programas sea una tarea difícil.

Por otra parte, es necesario aumentar la implicación de los MALE de los Ejércitos en la ejecución de los programas de I+D. Sólo así es posible

garantizar que se tiene presente el ciclo de vida y se puede aplicar el concepto de Ingeniería de Sistemas y de Ingeniería concurrente.

Como resumen de todo lo expuesto, me permito concluir lo siguiente:

- Comienza a haber una cultura sistémica que contempla todo el ciclo de vida del sistema propio de la Ingeniería de Sistemas.
- En el ámbito de Ejército, se está haciendo un gran esfuerzo por establecer una normativa para la gestión de los programas de I+D.
- La implantación del PDID elaborado por la DGAM supondría la existencia de una política de I+D, coherente y simplificadora, en un proceso tan complejo y con recursos tan limitados para las necesidades existentes.

## Referencias

- A. Ley 13/1995 de Contratos de las Administraciones Públicas y su modificación por Ley 53/1999 de 28 de diciembre.
- B. Orden 45/1985 de 29 de julio. Esta Orden Ministerial regula la tramitación y aprobación de los Programas de Investigación de Armamento y Material.
- C. Directiva de Programación del 28 de octubre de 1985 y *Normas de Desarrollo de la Directiva de Programación* del 28 de enero de 1988.
- D. Resolución 30/87 de 8 de junio de 1987 del SEDEF. En la que se aprueban las normas para la actuación de los jefes de programa. Este documento establece el contenido de la *Memoria justificativa* realizada por los estados mayores y de la directiva del programa redactada por el órgano ejecutivo. El documento, además, define las misiones del jefe de programa y determina su encuadramiento dentro del órgano ejecutivo. Asimismo, especifica los informes y las relaciones funcionales del jefe de programa y define los cometidos de una oficina de programa.
- E. Normas para la Actuación del Jefe de Programa del Ejército (21 de octubre de 1987). Este documento es la versión para Ejército del anterior documento. Identifica cuatro tipos de jefes de programa y define los cometidos del mismo en un programa genérico de adquisición.
- F. Instrucción Logística 1/86 del Estado Mayor de la Defensa. Este documento regula en el conjunto de las Fuerzas Armadas el procedimiento de trámite de las propuestas de I+D y del seguimiento de los programas.
- G. Instrucción Logística 1/88 del EMAD (propuesta). Este documento es la actualización del anterior. Establece la composición de la Comisión de Seguimiento (COMSE) y su dependencia funcional.
- H. Borrador de *Norma para los Proyectos de I+D* (1 de octubre de 1991). Esta norma establece los criterios, la organización y procedimientos que seguirán dentro del cuartel general del Ejército para los proyectos I+D nacionales y extranjeros.
- I. Real Decreto 1.883/1996, de 2 de agosto, de Estructura Orgánica Básica del Ministerio de Defensa.



- J. Orden Ministerial 65/93 de 9 de junio, por la que se desarrolla el Real Decreto 764/1992 en Materia de Calidad y Seguridad Industrial, desarrollada, a su vez, en la Instrucción 38/1998 del SEDEF de 19 de febrero.
- K. Propuesta de procedimiento para la gestión del programas de I+D en el ámbito del Ejército. Subdirección de Sistemas. Abril de 1994.
- L. PAPS. AAP 20. Volúmenes I y II.
- M. MIL-STD 499. *Engeneering management*. (Hoy día superada por la ISO 15.288).
- N. Norma de Actuación de los Jefes de Programas de I+D. Dada por el JEME en febrero de 1995.
- O. O. BLANCHARD. «Logistic engineering and management». Prentice Hall IntE. Nueva York. 1992.
- P. B. BLANCHARD. «Ingeniería de Sistemas». Publicación Ingeniería de Sistemas. ISDEFE. 1995.
- Q. Directiva número 291/1999 del 17 de diciembre del SEDEF por la que se regula la elaboración, aprobación y seguimiento del Plan Director de Armamento y Material.
- R. Directiva número 68/2000 de 9 de marzo del SEDEF por la que se regula el proceso de obtención del armamento.
- S. Ministerio de Defensa. *Memoria de las Legislaturas V (1993-1996) y VI (1996-2000)*. Centro de Publicaciones del Ministerio de Defensa. Madrid 1996 y 2000.
- T. Plan Director de I+D del Ministerio de Defensa. Versión presentada el 24 de abril de 2000.
- U. Real Decreto 1.005/87 que Regula los Contratos de Asistencia Técnica.
- V. MIL-HDBK-502. Guía para el Apoyo Logístico. (Viene a sustituir a la MIL-STD-1388).

# RESUMEN

## RESUMEN

### Primera sesión

#### *Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en las Fuerzas Armadas*

El general Zamarripa Martínez comienza justificando la existencia de las Fuerzas Armadas y su posible actuación por la presencia de conflictos de diversa índole, que en algunas ocasiones se pueden solucionar por medios disuasorios, pero que en otras tendrán que hacerlo mediante el empleo de la fuerza, de la manera más rápida posible, con la mínima pérdida de vidas humanas y en particular, evitando muy especialmente las bajas propias. Y precisamente aquí es donde entra la tecnología, que permite ir más alto, más rápido, más lejos y con más potencia y que, además, nos permite disponer de los elementos de mando y control adecuados, adquirir la información necesaria para operar eficazmente, no causar daños innecesarios, es decir, que nos permite ser el elemento primordial para resolver un conflicto de la manera más eficaz y más humana posible. Asimismo la tecnología militar ha sido siempre una tecnología dual, ya que sus descubrimientos se han incorporado rápidamente a la vida civil y han contribuido al progreso de la sociedad. En conjunto, I+D+I, tienen una importancia vital tanto en el ámbito militar como en el civil.

Se refiere posteriormente al panorama internacional de la defensa, comenzando con la afirmación de que la seguridad y la defensa en Europa van ligadas a dos instituciones de gran importancia política, como son la Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN) y la Unión Europea.

En la OTAN, la desaparición de la Unión Soviética han dado paso a un periodo de reflexión sobre el papel que puede jugar en este nuevo siglo. La aparición de nuevos riesgos han motivado que los países miembros de la Alianza hayan decidido encargar a la misma la misión de promover activamente la cooperación y la estabilidad en su área de responsabilidad y en su entorno.

Por parte de la Unión Europea, está en proceso de consolidación una Identidad Europea de Seguridad y Defensa, el desarrollo de una Política Exterior y de Seguridad Común y la participación en misiones de mantenimiento de la paz (*misiones Petesberg*), cuando la OTAN no se involucre en las mismas.

En este panorama de seguridad surgen un gran número de aspectos que hacen imprescindible el desarrollo de nuevas capacidades de las Fuerzas Armadas y conseguir la adecuada interoperabilidad de los equipos para poder llevar a cabo operaciones conjuntas de forma eficaz y coordinada. Tanto las nuevas capacidades como la interoperabilidad son conceptos en los que la Investigación y Desarrollo (I+D) tienen un papel fundamental que desempeñar. En este terreno es en el que la I+D se desenvuelve y permite ver la importancia de la misma, no sólo desde el punto de vista técnico, industrial y político, sino también dentro del esquema de seguridad que nos proporciona la OTAN.

A continuación el conferenciante expone en que estado se encuentra la I+D en la Unión Europea, afirmando que en materia de seguridad y defensa tiene una dimensión bastante limitada, aunque creciente, intentando crear una identidad y una concentración en materia de industria de defensa e igualmente en el terreno de I+D. Se refiere posteriormente a las organizaciones Grupo de Armamento de Europa Occidental (GAEO) y Organización de Armamento de la Europa Occidental que actúa como agencia ejecutiva de la anterior, siendo su objetivo ayudar a promover e intensificar la cooperación europea en materia de armamento, reforzar la base tecnológica europea de defensa y crear un mercado europeo de defensa.

Continúa detallando actividades del GAEO así como sus objetivos y acuerdos actuales o futuros.

En cuanto a la OTAN la cultura de I+D está más desarrollada existiendo una Organización de Investigación y Tecnología, organizada en un Comité de Dirección y una Agencia de Investigación y Tecnología.

Asimismo existen numerosos desarrollos a través de estudios técnicos-operativos que llevan a cabo grupos de trabajo encuadrados en paneles dependientes de la Conferencia de Directores Nacionales de Armamento.

Hay en Europa otro foro alternativo de reflexión conocido como «Iniciativa de las Seis Naciones», consistente en una carta de intenciones relativa a las medidas para facilitar la reestructuración de la industria de defensa europea.

Hay otros foros específicos, pero no exclusivamente militares que tratan sobre el futuro de determinadas tecnologías, como es el caso de GAR-TEUR (*Group for Aeronautical Research and Technology in Europe*).

Resumiendo que a nivel europeo existe un gran potencial para el desarrollo en común de proyectos I+D.

El general Zamarripa Martínez pasa a continuación a referirse a la I+D+I en España diciendo que está recibiendo un fuerte impulso político que se traduce en términos económicos, esperando que alcance el 1,29% del Producto Interior Bruto (PIB) en el año 2003, y que solo el 53,8% de esa cantidad proceda de fondos públicos.

El instrumento para poner en práctica la política I+D+I del Gobierno es el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003 cuyos principios generales son estar al servicio del ciudadano y de la mejora del bienestar social, una gran competitividad empresarial y contribuir a la generación de conocimiento.

Explica este plan D+I con él deteniéndose en la I+D en Defensa y exponiendo las actividades que realizan y como se llevan a cabo. Estas actividades consumen una parte de los créditos presupuestarios y del personal del Ministerio de Defensa, en total unos 38.000 millones. Se refiere a los organismos autónomos, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo (CEHIPAR) explicando los problemas que tienen.

Posteriormente hace una breve exposición sobre el (INTA), del que es segundo jefe señalando que es el principal centro de I+D para la defensa en España. Continúa refiriéndose a los recursos económicos del INTA, al personal del mismo así como a las áreas tecnológicas y la distribución del esfuerzo del Instituto.

Finaliza con unas conclusiones generales en las que destaca la importancia del I+D+I en las Fuerzas Armadas, subrayando su necesidad, así como

la dificultad de su manejo, siendo imprescindible para mantener a las Fuerzas Armadas, y a España en el filo de la alta tecnología.

## Segunda sesión

### *El diálogo ciencia-gobierno en la toma de decisiones políticas*

El profesor Zapata González comenzó su exposición afirmando que:

«La ciencia y la tecnología modulan la velocidad y dirección del cambio en las sociedades modernas.»

Por tanto, podemos considerar que la ciencia puede servir para determinar políticas socioeconómicas de gran impacto. De hecho, basándose en planteamientos científicos se pueden desarrollar políticas de carácter transversal, que abarque a varios ministerios, que *a priori* no tienen que ver con la propia ciencia pero que pueden influir notablemente en el desarrollo del estado.

El conferenciante se plantea tres cuestiones básicas:

1. ¿Qué se entiende por asesoramiento científico?
2. ¿Qué relevancia tiene el asesoramiento científico en la globalización?
3. ¿Qué importancia tiene contar con la ciencia en el desarrollo de políticas gubernamentales?

Posteriormente afirma que existe una relación vital entre la ciencia y la política, ya que la ciencia es una clave para la nueva política y para impulsar los cambios políticos de una nación. Para el profesor Zapata González, la ciencia legitima la política y la toma de decisiones, siempre y cuando se cuente con ciencia de calidad y con políticas «serias». En suma, la ciencia ayuda a mejorar las decisiones gubernamentales y a reducir las crisis, contribuyendo, además, al desarrollo sostenible.

Insiste en que se pueden plantear unas directrices generales para el «Asesoramiento científico en la toma de decisiones políticas», y entre otras apunta las siguientes:

1. Es necesario que los responsables de la toma de decisiones de carácter político estén convencidos del interés del asesoramiento científico.
2. Para que la asesoría científica sea eficaz debe cumplir los siguientes requisitos: debe ser seria, no debe aceptar filtros y no debe, ante todo, tener sesgos de ningún tipo, y se deben excluir sobre todo los sesgos políticos. El científico debe saber separar su propia opinión de los resultados de su análisis.

3. Los problemas deben ser siempre enfocados por grupos de expertos, requiriéndose un marcado carácter interdisciplinar, y, sobre todo, interministerial e incluso internacional.
4. Deben ser los expertos (como ya se ha dicho de muchas disciplinas) los que deben detectar los problemas, y no deben de tener obstáculos para comunicar aquellos problemas o situaciones que consideren de interés.
5. Se debe «institucionalizar» el proceso de seguimiento en la detección de problemas y de soluciones a los mismos.
6. La verdadera asesoría científica siempre deberá llevarse a cabo en un marco de transparencia, por lo que deben planificarse auditorías y comités parlamentarios, etc.

Culmina el profesor Zapata González su intervención con una serie de comentarios sobre la dimensión internacional que debe tener la ciencia y las situaciones de la nueva sociedad, movilidad geográfica, etc.) que llevan hacia la globalización. Es en este contexto cuando las decisiones políticas deben basarse aún más en criterios científicos y tecnológicos, partiendo de la base común del conocimiento. Según el conferenciante «el científico debe llegar a la sociedad y la Gobierno», y debe hacerlo manteniendo un alto nivel de planteamientos porque: «en la ciencia comunicar no es divulgar y, sobre todo, no es vulgarizar.

### **Tercera sesión**

#### *Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en los programas militares espaciales en España*

El teniente coronel Moisés Fernández Álvaro comienza su exposición diciendo que va a dar una visión más positiva del I+D+I. Presentará una serie de trabajos realizados por personal del INTA y de la Universidad.

Insiste en la idea de que no basta con tener conocimientos si no que hay que aplicarlos en tiempo oportuno y siendo optimista en cuanto a los programas de elaboración.

Entrando en la conferencia, inicia con unos antecedentes en los que contempla la larga tradición en actividades espaciales en España a través de INTA-CONIE, colaboración con la NASA en estaciones de seguimiento (Ro-bledo, Cebreros, Maspalomas) de vuelos tripulados y sondas, desarrollo del INTASAT, participación en programa de la ESA, etc. Pasa a hablar de los primeros programas de aplicación militar como es la participación

en Helios I para observación de la tierra y prestación de servicios en los satélites HISPASAT 1A, 1B para comunicaciones por satélite. Detalla en que consiste el Programa Helios I diferenciando entre la participación industrial y la operativa, así como el aprovechamiento de la capacidad de lanzamiento para el UPM-SAT. Así mismo se refiere al Programa HISPASAT efectuando la misma distinción entre la participación industrial y la participación operativa, esta última a través de los Programas CICSAT y SECOMSAT. Del HISPASAT también menciona a los situados en posición orbital: 30 grados Oeste en la que se encuentran los HISPASAT 1A y 1B (1993), 1C (2000) y el 1D (operativo a finales de 2002) y al situado en posición orbital 61 grados Oeste Amazonas, aún en proyecto. Se refiere a la cobertura de éstos satélites así como a sus aplicaciones entre los ejércitos: (redes punto a punto, comunicaciones estratégicas y tácticas, transmisión de vídeo y bases de datos), y acceso a Internet y banda ancha e igualmente cita la oferta de servicios de HISPASAT.

Pasa el teniente coronel Fernández Álvaro a explicar el Programa MINISAT, en sus diferentes fases como MINISAT 0 con los Programas MINISAT 01 y MINISAT 02; MINISAT 1 con los Programas ISHTAR, CESAR y Fuego SAT, MINISAT 2 con los Programas MINISATCOM y DESAT-Antena GOBI. Menciona especialmente en el Programa MINISAT 01 ya que se trata de la realización del primer satélite en España en todas sus fases, como el diseño, desarrollo, calificación, lanzamiento, etc., con la intervención fundamentalmente del INTA y en menor medida la industria y la Universidad. Explica las ventajas de las pequeñas plataformas para pasar posteriormente a referirse a la misión del MINISAT 01, descripción de la misma, características generales, así como los subsistemas de la plataforma, así como el seguimiento del terreno en el que cumple la misión.

Pasa a presentar el Programa ISHTAR del que sus principales objetivos son el implementar un sistema completo de observación de la tierra; satisfacer las necesidades operativas del Estado Mayor de la Defensa y proporcionar autonomía operativa en la obtención de información en los campos estratégico y táctico. Así mismo explica la aplicación del ISHTAR así como la arquitectura del sistema, misiones, prestaciones.

Posteriormente se refiere el conferenciante a los nuevos programas de aplicación militar, distinguiendo entre los dedicados a la observación de la Tierra como el HELIOS II, el ESTADO 4; el SIGESTREDI y finalmente el PLEIADES, y los de comunicaciones por satélite, como el IRMA y el SPAINSAT.



Explica con más detalle el PLEIADES que es un programa iniciado por Francia, en el que España participa con el 6%. Está asociado al Programa italiano COSMO-SKYMED, siendo este sistema dual el núcleo del futuro sistema europeo de observación, estando abierto a la cooperación internacional. A continuación se refiere al Programa IRMA, desarrollo por INTA-CASA Espacio de la antena activa de vuelo con capacidad anti-interferencias del satélite SPAINSAT, basada en el prototipo antena GOBI en transmisión y recepción del programa DESAT, continúa con el Programa SPAINSAT, para prestar servicios al Ministerio de Defensa en banda X y banda Ka por la sociedad HISDESAT, pudiendo comercializar servicios a otros clientes gubernamentales con el excedente de capacidad.

El teniente coronel Fernández Álvaro finaliza su intervención con las siguientes conclusiones:

- La innovación tecnológica incluye la generación del conocimiento y su aplicación.
- Los programas españoles del Ministerio de Defensa han propiciado y requerido proyectos del I+D+I en la industria y la Universidad.
- El Ministerio de Defensa ha colaborado con organismos (CICYT, CDTI, Ministerio de Industria y Ministerio de Ciencia y Tecnología) y utilizado mecanismos de la Administración (planes nacionales de I+D, planes de marco europeos) para fomentar la innovación en el campo espacial aplicado a sus necesidades.
- El Ministerio de Defensa ha puesto recursos presupuestarios y humanos (DGAM e INTA) para fomentar la I+D+I espacial española).

## **Cuarta sesión**

### *La investigación en España: realidad, problemas y esperanzas*

El profesor Fernández-Rañada comenzó su disertación con un resumen selecto de los hechos más significativo de la historia de la ciencia en España, desde el siglo XVI al XX. Explicó los orígenes de situaciones y tópicos frecuentes relativos a la ciencia en España. Comenta que, lamentablemente, ha predominado hasta nuestro siglo la concepción utilitarista de la investigación que se vienen arrastrando desde el reinado de Felipe II.

En la denominada «transición política» que tuvo lugar hace a finales de la década de los años setenta se plantearon varios problemas básicos para la modernización de nuestra nación como fueron:

- La denominada «cuestión social».
- La cuestión de la forma del Estado (¿monarquía o república?).
- La cuestión sobre el papel del Ejército en el Estado moderno.
- La cuestión sobre el papel de la Iglesia en el Estado moderno.
- La denominada «cuestión Iglesia».

Siendo la gran olvidada la que se podría denominar «cuestión de la ciencia y la tecnología», o tal vez mejor la «importancia del avance científico y tecnológico para el desarrollo del Estado». De hecho, según el conferenciante, una de las mayores diferencias de nuestro país con las naciones avanzadas es, precisamente, el nivel de desarrollo científico y tecnológico.

En nuestro país, según el profesor Fernández-Rañada, una idea generalizada tanto entre los políticos como entre los ciudadanos es que:

«España no tiene que preocuparse por ese problema porque cuenta, y siempre contará con el turismo.»

Esta actitud relega a la ciencia y la tecnología a un segundo término en las prioridades del Estado. No obstante, la cuestión es que «el turismo» y el «desarrollo científico y tecnológico» no sólo no son cuestiones opuestas, sino que deben ser aspectos complementarios del desarrollo y la economía de un país. El conferenciante cita como ejemplos a California y Florida, lugares en principio turísticos pero con áreas o instituciones de intenso desarrollo científico y tecnológico: Silicon Valley para la primera y Florida Institute of Technology para la segunda.

El profesor Fernández-Rañada destacó la diferencia entre «crear» tecnología y «usar» tecnología, a fin de aclarar el cierto espejismo de desarrollo tecnológico que vivimos hoy en nuestro país. Indica que los países del Primer Mundo usan y crean tecnología, mientras los países del Tercer Mundo ni usan ni crean tecnología. Entre ambos existiría una situación intermedia, en la que podríamos encontrar a España, de países que usan pero que no crean tecnología, por lo que son muy dependientes de los demás.

A continuación, y a fin de concretar más su exposición, presentó una serie de cuadros y estadísticas para explicar la situación de la ciencia y la Tecnología en España, la participación de la empresa y de los organismos estatales en el proceso, etc.

A la pregunta de ¿cómo es la Ciencia en España?, el profesor Fernández-Rañada contesta que es: buena, escasa y académica. Buena: porque se realizan estudios de notable relevancia y se publican en los medios ade-

cuados para que se conozcan. Escasa: porque en realidad se hace poca investigación si se comparan los resultados con el PIB, con la población o con otros índices. Académica: porque es una ciencia en general muy básica con muy escasa aplicación en el mundo cotidiano.

El conferenciante concluye que, en realidad, ya es un problema crónico, que sigue sin resolver desde 1978, debido a una falta de percepción por parte de los políticos y un problema cultural de carácter general. No obstante, tiene esperanzas de que esta situación se recupere en algún momento. La cuestión reside en que, en general, cuando una comunidad de científicos no recibe el estímulo necesario de la sociedad tiende a orientarse hacia el estudio temas de ciencia básica. La cuestión, es que cuando la ciencia desarrollada por estos científico ha llegado a un nivel adecuado, como parece ser el caso de España, si la sociedad reclama seriamente la participación de los mismos pueden pasar muy fácilmente a poder abordar cuestiones más aplicadas. Por lo cual lo que se requiere ahora es que la sociedad cuente con los científicos a la hora de solventar diversos problemas y situaciones.

## Quinta sesión

### *Nuevos temas de la innovación tecnológica en una perspectiva comparada: diversidad y eficacia de las empresas españolas*

El profesor Molero Zayas comenzó su exposición planteando que el término innovación puede tener diversos enfoques, y que cada enfoque genera perspectivas de actuación distinta. Considera que existe una gran diversidad en los métodos y medios que desarrollan las empresas para introducir la innovación. Planteando que, en general el agente innovador es la empresa, se pueden definir los que él denomina «tres círculos concéntricos de la innovación»:

- El círculo central estaría constituido por el núcleo tecnológico y de base de conocimiento de la empresa.
- El círculo medio serían los activos complementarios: recursos financieros, recursos humanos, etc.
- El círculo exterior correspondería al entorno de la empresa y sus relaciones con el sistema de innovación implantado a nivel nacional.

También como el profesor Fernández-Rañada, el profesor Molero Zayas considera que existe una gran diferencia entre la creación de la tecnología dentro de un Estado determinado y el uso de dicha tecnología por la

sociedad correspondiente. Hoy se entiende que, en España, asimilamos mucho mejor la tecnología que importamos que hace unos 20 a 30 años.

El profesor Molero Zayas presenta una serie de figuras y cuadros comparativos sobre las diferencias y similitudes entre las empresas innovadoras de nuestro país y de la media de la Unión Europea. Así, refiriéndose siempre a empresas manufactureras y de más de 20 empleados, el profesor Molero afirma lo siguiente:

1. El porcentaje de empresas que incluyen la innovación entre su desarrollo es inferior en España que en Europa; de hecho en España menos del 50% de las empresas incluyen alguna política de innovación.
2. Además, las empresas españolas que realizan procesos de innovación invierten mucho menos capital que las europeas. De hecho éstas empresa invierten en España el 2,8% de sus ventas, mientras que en Europa este porcentaje alcanza el 5,4%. En este sentido, si bien en Europa estamos ya al 30% del nivel de inversión de los líderes europeos, hay que reconocer que nos encontramos mucho más lejos de los que sucede en Estados Unidos o Japón.
3. Por otra parte las empresas españolas que invierten un porcentaje razonable en innovación, invierten, en general y mucho menos que en otros países europeos, en I+D. Hoy el análisis moderno de la innovación conduce a pensar que el I+D es importante, pero que también hay otros puntos importantes.

A todo esto hay que unir la complejidad propia del cambio tecnológico. Por un lado, hay que combinar el aprendizaje y los procesos de innovación de la empresa con otros centros (universitarios, investigadores, etc.) y otras empresas. Pues bien, cuando se analiza el parámetro de cooperación empresarial se observa que las empresas españolas cooperan entre sí mucho menos que sus homólogas europeas. La tendencia en España es cooperar menos con otras empresas y existe una mayor tendencia a cooperar con el sector público. Sin embargo, hoy el verdadero reto es la alianza empresarial.

Culmina el profesor Molero Zayas con una serie de reflexiones sobre la política de innovación, de las que se destacan a continuación algunas de las más relevantes:

1. Hay que incrementar los recursos que asignan los agentes políticos a la innovación. Es necesario mantener el equilibrio y la complementariedad entre «comprar tecnología y crearla».
2. Incrementar los niveles de cooperación y de innovación del sistema.

3. Fomentar la internacionalización y la integración de las empresas nacionales.
4. Garantizar que los frutos de la innovación queden en el territorio, etc.

## Sexta sesión

### *Evolución de la investigación en la hidrodinámica naval*

El contralmirante Fernández Pampillón comienza se exposición con una breve introducción en la que explica qué es un barco desde la base de ingeniería y que la tarea de la ingeniería naval es que el buque cumpla unos requisitos básicos de flotabilidad y estabilidad, estructura adecuada para soportar los esfuerzos de la mar, capacidad de supervivencia y cumplimiento de los requisitos de operación impuestos para desarrollar adecuadamente sus misiones. Asimismo hay que considerar el aspecto hidrodinámico para conseguir el más eficaz binomio, resistencia del casco al avance y rendimiento propulsivo

Posteriormente comenta que va a exponer el camino de la investigación, especialmente en resistencia, comportamiento del buque en la mar y tecnologías CFD (*Computational Fluid Dynamics*), finalizando con unos ejemplos de algunas investigaciones que se van a iniciar en el CEHIPAR.

En lo referido a la resistencia al avance, explica que no es un tema fácil exponiendo una serie de trabajos sobre el tema, que van desde los realizados por Leonardo da Vinci hasta nuestros días. Realiza una breve exposición sobre las diferentes fórmulas y experimentos prácticos realizados principalmente en canales de experiencias. (Sobre los propulsores, comenta los diferentes mecanismos de propulsión que han existido hasta la aparición de la hélice, que es el más utilizado. Se refiere posteriormente a la maniobrabilidad, o capacidad que tiene un barco para cambiar de rumbo y que se estudia, bien en los canales de experiencias o en los «ensayos de pantano»).

Realiza una exposición más detallada sobre el comportamiento del buque en la mar, considerando que el proyecto de un barco es un arte desarrollado desde tiempos remotos y que abarca aspectos como: estabilidad; resistencia al avance; diseño de hélices; resistencia estructural; maniobrabilidad y estabilidad de rumbo, todo ello en aguas tranquilas. Matiza el conferenciante que esta simplificación del desarrollo del diseño no es de aplicación en el presente, debido fundamentalmente a la evolución y exigencias de los tipos de buques actuales. El concepto de comportamiento

del buque en la mar nos da su capacidad de cumplir sus misiones de seguridad. Este tema se puede dividir en: movimientos, velocidades y aceleraciones del buque; potencia y velocidad en las olas; cargas inducidas sobre la estructura; valores extremales, como embarque de agua en cubierta —cabezada y pantocazos-emersión de la hélice— efectos dinámicos de aceleraciones.

El conferenciante explica cada uno de los parámetros anteriormente expuestos con una serie de experiencias prácticas y fórmulas aplicadas en la actualidad.

Posteriormente pasa a analizar las nuevas técnicas CFD para el cálculo de la resistencia al avance de un cuerpo en un fluido que, como dice el contralmirante Fernández Pampillón; ha sido tradicionalmente abordado por métodos numéricos sin muchos éxitos en la práctica hasta que, la aparición de potentes ordenadores, hace unas tres décadas, llevó consigo el fuerte impulso a las técnicas de resolución numérica.

En la actualidad los cálculos CFD se han dividido en tres ramas: flujo alrededor de la carena y resistencia al avance; análisis de comportamiento en la mar y maniobrabilidad y finalmente análisis de propulsores.

Explica cada una de estas ramas por medio de figuras y ejemplos así como los métodos en cada problema para su solución.

Finaliza su exposición mostrando algunos ejemplos de investigaciones del CEHIPAR que se refieren en concreto a: método de predicción de embarque de agua en cubierta; sistema de evacuación de buques de pasaje e interacción entre buques y como dice el conferenciante, con esta experimentación se contribuirá a mejorar la seguridad en la navegación.

## **Séptima sesión**

### *Reflexiones sobre la relación Defensa-Universidad*

El señor López García parte de la base de que:

«En la política de la defensa hay que mantener el liderazgo de las Fuerzas Armadas.»

El señor López García expone a continuación su concepto global de Fuerzas Armadas y el papel relevante que las Fuerzas Armadas españolas han tenido recientemente en misiones de paz, etc.

En este contexto comenta las relaciones militares de España con los demás países europeos, relatando algunos aspectos históricos interesantes. Indica que, desde todos los puntos de vista, sería muy difícil mantenerse en una Europa en la que la contribución a la defensa común no se corresponda con el nivel económico del país. A continuación comenta numerosos hechos relativos al momento en que tuvo lugar la entrada de nuestro país en la OTAN. Denota, en los tiempos recientes, que la sociedad actual y las nuevas generaciones tienen una cierta falta de liderazgo, una cierta falta de capacidad para asumir riesgos personales, lo que influye en la política de la defensa.

El servicio militar obligatorio, hoy extinguido, tenía además de sus componentes clásicos el sentido vertebrador de la sociedad porque permitía las relaciones entre personas de distintas regiones, de distintos oficios o profesiones y de distintas capacidades. Indica que la carencia de este sentido vertebrador provoca, paulatinamente, un cierto desmembramiento social y alejamiento entre las personas. Por todo ello, plantea la necesidad de llevar a cabo lo que denomina movimientos centripetos dentro de las naciones para evitar su desmembramiento, y evitar los movimientos centrifugos que facilitan la desvertebración. Según el señor López García, una vez desaparecido el servicio militar obligatorio, el elemento social que puede contribuir a la vertebración es la Universidad. Por tanto, una primera conclusión es que ese espacio vertebrador puede ser ocupado por la Universidad, sobre todo a partir de políticas como «el distrito único» que permiten la relación de todos los jóvenes españoles en regiones y provincias distintas a la suya.

Otro aspecto que interesa al señor López García son las relaciones Universidad-Defensa. Comienza indicando que la Universidad puede contribuir a la Defensa Nacional fomentando entre los estudiantes el estudio y la crítica. La Universidad puede convertirse en un elemento de aproximación entre la Defensa Nacional y la sociedad. Por otra parte hay que entender que la Defensa Nacional no sólo se basa en la tecnología avanzada de aplicación militar sino también en otros muchos aspectos de ciencia y tecnología avanzadas, incluyendo a las desarrolladas por la sociedad civil, como las redes informáticas o cualquier otra estructura.

La Universidad puede colaborar en la política de la defensa, ya que tiene capacidad de obtener un desarrollo del liderazgo intelectual, permitiendo la generación de estados de opinión. Es un entorno con una concentra-

ción masiva jóvenes y, por tanto, idóneo para fomentar la información sobre los procesos de innovación en las Fuerzas Armadas.

Como comentarios a la Ley Orgánica de Universidades, indica que la universidad va a desarrollar su mejor permeabilidad entre las distintas comunidades autónomas. Hay que permitir y fomentar la mayor movilidad entre los jóvenes del país para permitir una mejora en la vertebración nacional. De hecho, la Universidad puede ser el foro adecuado para mantener un debate sobre el estado de las autonomías. En este sentido la presencia constante de la Defensa Nacional en las universidades puede ser muy beneficiosa.

Don Antonio López García concluye con una serie de reflexiones de las que destacan:

1. Hay que mejorar las relaciones entre la Universidad y Defensa, lo que, además, permitirá captar licenciados para contribuir a nuestra Defensa Nacional.
2. El Consejo Social de las Universidades representa a la sociedad dentro de la Universidad; en este mismo sentido reclama que Defensa esté también representada en los Consejos Sociales.

## Octava sesión

*Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I)  
en la Ingeniería de Sistemas. (Los programas  
de Investigación y Desarrollo (I+D) en el Ejército de Tierra)*

El general Torrón Durán en la introducción de su conferencia aclara que se van a analizar los aspectos relacionados con los programas de I+D en el Ejército de Tierra organizando la exposición a través de siete epígrafe «Política de I+D del Ministerio de Defensa y la evolución del presupuesto y sus repercusiones; responsables del I+D en Defensa; secuencias en los programas de I+D y un calendario deseable; ejecución de los programas de I+D; cometidos del personal clave de los programas; programas actuales y recientes de I+D del Ejército y finalmente una conclusión sobre la problemática que se expone», comenzando su exposición refiriéndose a la política de I+D en Defensa, pero antes de explicar cual es esa política, considera importante precisar los términos, para lo que hace referencia al *System Engineering and Analysis* en el que su autor, Blanchard, ofrece algunas definiciones que se deben tener presente en el desarrollo de la conferencia, como son la investigación básica, que tiene como objetivo un



conocimiento del tema sin exigir un enfoque práctico; la investigación aplicada, orientada a conseguir el conocimiento y la comprensión precisas para determinar los medios para satisfacer una necesidad específica y reconocida y, finalmente, el desarrollo considerado como el uso sistemático del conocimiento y comprensión obtenidos de la investigación para la producción de materiales, dispositivos, sistemas o métodos útiles, incluidos el diseño y desarrollo de prototipos y procesos.

La importancia de las actividades de I+D lo demuestra el número de científicos e ingenieros que se dedican a ellas. En Estados Unidos el 41% de los científicos se dedican a la investigación aplicada y al desarrollo. En recursos se dedica el 86% frente al 14% dedicado a la investigación básica.

Se refiere posteriormente a los objetivos de los programas de I+D que se encuentran en la *Normas para Proyectos de Investigación y Desarrollo*, donde se les define como: obtención de nuevas armas, equipo y material con unos determinados condicionantes; modificación del material actual; estudiar nuevas áreas tecnológicas y mejorar la eficacia. El logro de estos objetivos presenta diversas dificultades, siendo la más grave la limitación en la dotación presupuestaria y para reducir sus efectos se han marcado una serie de directrices encaminadas a disminuir la atención a las investigaciones básica y aplicada, aumentándola en el desarrollo, potenciando la capacidad tecnológica, manteniendo el interés por equipar los laboratorios de investigación y favoreciendo tecnologías de uso civil y militar.

Alude el conferenciante al Plan Director de I+D (PDID) del Ministerio de Defensa, elaborado el año 2000, pero aún no plenamente implantado, en el que sus finalidades se concretan en dotar a las Fuerzas Armadas con los sistemas de armas y equipos adecuados a sus previsibles futuras acciones, preservando y fomentando las bases industrial y tecnológica españolas dedicadas a la defensa, todo ello de acuerdo con lo contemplado en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2000-2003.

Prosigue el general Torrón Durán comentando las líneas de acción del Plan Director, para referirse posteriormente al presupuesto de I+D, desglosándolo por áreas tecnológicas.

Se refiere a continuación a los responsables de I+D dentro de las Fuerzas Armadas que se definen en la *Normas de Desarrollo de Programas* 1986 y en las que se contemplan que la función de planeamiento corresponde a los estados mayores, la de programación a los estados mayores, oídos los

órganos ejecutivos, las de dirección y ejecución a los órganos ejecutivos y la presupuestaria a los órganos económicos.

Hace referencia a las secuencias de un programa de I+D así como al calendario de actividades de las etapas de elaboración de la *Memoria justificativa*, la de aprobación de la directiva del programa y de la convocatoria de la ejecución del programa.

El siguiente epígrafe se refiere a la ejecución de los programas de I+D que conciernen a las etapas de ejecución y seguimiento del contrato y la recepción final para lo que contempla el ciclo de vida de un sistema bajo la óptica de la Ingeniería de Sistemas y la metodología empleada, así como las consecuencias del I+D en los programas de adquisiciones.

El quinto epígrafe está dedicado al personal clave de un programa de I+D explicando las misiones del mismo, como son el jefe del programa, el director técnico, el representante del área de inspecciones industriales y representantes del órgano ejecutor, entre otros.

El sexto epígrafe trata sobre los programas de I+D dentro del Ejército, dando una breve explicación de los actualmente activos o de reciente finalización, así como de los programas propuestos recientemente, finalizando su conferencia el general Torrón Durán con unas conclusiones en las que expresa que comienza a haber una cultura sistémica que contempla el ciclo de vida del sistema, propio de la ingeniería de sistemas; que en el ámbito del Ejército se está haciendo un importante esfuerzo para establecer una normativa para la gestión de los programas de I+D y que la implantación del PDID elaborado por la Dirección General de Armamento y Material, supondrá la existencia de una política de I+D coherente y simplificadora, en un proceso tan complejo y con recursos tan limitados.

**CLAUSURA**

## CLAUSURA

Por DOMINGO MARCOS MIRALLES

Segovia, 15 de diciembre de 2001.

Excelentísimo señor alcalde de Segovia, querido general director de la Academia de Artillería y presidente del Patronato del Alcázar, excelentísimo señor rector magnífico de la Universidad Complutense, excelentísimos e ilustrísimos señoras y señores.

A todos mi agradecimiento por su apoyo y su colaboración al éxito de éstas *XII Jornadas Universidad Complutense de Madrid (UCM)-Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN)* y que se pone de manifiesto con su presencia en éste acto de clausura.

Las *Jornadas*, como no podía ser de otra manera, se han caracterizado por su ambiente cálido y cordial, una franqueza, apertura y sinceridad en el tratamiento de los temas expuestos, un intercambio de ideas muy enriquecedor y un altísimo nivel en las exposiciones y profundidad en los coloquios, dónde siempre ha primado lo positivo en la exploración de posibles soluciones a la amplia problemática expuesta sobre un tema tan sugestivo como la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I) en la seguridad y la defensa.

Y no podía ser de otra manera digo, porque tanto la Universidad, como el CESEDEN tienen una vocación común cual es la formación de los que serán los líderes de la sociedad a corto plazo y eso implica tener a su mejor capital humano en primera línea de contacto, por utilizar una expresión militar.

El Centro que me honro en dirigir nació hace 37 años con una clara vocación de foro de encuentro donde la labor más interesante, se reconocía, sería la colaboración entre personalidades civiles y militares llamadas a participar en la dirección de los asuntos nacionales, a su mutuo conocimiento y lo que sigue lo pondría entre comillas «derribar paredes hoy día estancas».

En estas afirmaciones hay dos tareas una a corto plazo ya felizmente cumplida y otra permanente, una de cuyas etapas culminamos hoy, porque es siguiendo aquel espíritu, que una vez más nos hemos encontrado universitarios y militares, embarcándonos en la aventura intelectual y científica de reflexionar conjuntamente sobre un tema de total actualidad, y con notables implicaciones para la Defensa Nacional, tal como hemos comprobado a lo largo de estos días, y han tenido ocasión de recordarnos los relatores.

Ya la calidad de los ponentes permitía vaticinar el éxito pero la realidad ha superado nuestras esperanzas, y por ello como director del CESEDEN, me congratulo de la continuidad y buen resultado de estas *Jornadas*, perfectamente consolidadas, por otra parte y cuyo éxito cargo en haber de la dirección y del claustro de profesores de la UCM, que siempre acogieron y apoyaron con entusiasmo estas iniciativas.

Deseo finalizar manifestando al rector magnífico, excelentísimo señor don Rafael Puyol Antolín, y a sus colaboradores, que hoy nos acompañan, nuestro agradecimiento y felicitar a los equipos de organización y administración, de la UCM y del CESEDEN, que han hecho posible la realización de estas *XII Jornadas*, que hoy concluyen, con la satisfacción de un trabajo bien hecho.

\* \* \*

Por RAFAEL PUYOL ANTOLÍN

Tomo la palabra para saludarles a ustedes, para celebrar la consolidación de estas *Jornadas* que empiezan a adquirir el saludable abolengo de lo que perdura y para congratularme con todos ustedes por el feliz desarrollo que han tenido las sesiones. Aprovecho la ocasión para decir un par de cosas sobre el argumento de estas *Jornadas* de estudio convocadas y organizadas al alimón por el CESEDEN y la UCM. Más concretamente quiero resumirles el estado de la cuestión en materia de I+D+I en las universidades.

En el futuro se espera de la Universidad que continúe dispensando las enseñanzas superiores, que controle la enseñanza secundaria que le suministrará una clientela seleccionada, pero también, y sobre todo, tendrá que producir y vender servicios de variada naturaleza: educación permanente, innovación, creación de empresas de base tecnológica y apoyo a las empresas en materia de investigación básica. Algunas grandes universidades tendrán éxito en la medida en que sean capaces de fundar y dar valor a marcas importantes. Producirán cada año más riqueza que algunos países. He citado en otras ocasiones un dato sin duda sorprendente; es el siguiente: ahora mismo, con las empresas creadas en su órbita el Instituto Tecnológico de Massachusetts produce más que Dinamarca, vigesimocuarta potencia mundial. A medida, pues, que la empresa necesita ser cada vez más sabia, la Universidad tiene que ser cada vez más práctica.

En la última década el sistema español de I+D+I ha duplicado su tamaño, sean cuales sean los indicadores que usemos para medirlo. Pero lo que sí parece estar fuera de dudas es que ha habido hasta ahora una falla, una desconexión entre la investigación pública y su entorno, que ha limitado mucho el impacto de la ciencia española en la competitividad de nuestra economía. Por ello el Plan Nacional de Investigación y Desarrollo postula criterios de financiación que priman la investigación aplicada, la que más se ciñe a la demanda social. Insisto: el reto es romper las fronteras que han venido separando la investigación académica e industrial; es decir, la conexión de la investigación pública con su entorno. La palabra transferencia refleja la filosofía de actuación de los poderes públicos en este campo e implica la existencia de una frontera entre la investigación que se hace en los organismos públicos de investigación y su posterior utilización. Pero en España, como en otros países europeos, tales como Alemania o Francia, en estos últimos años un porcentaje creciente de los fondos públicos y privados dedicados a la investigación ha sido reorientado hacia institutos especializados. Y en la medida en que van al sector universitario, se concentran cada vez más en establecimientos independientes, en institutos que firman contratos a largo plazo con las grandes empresas, que forman consorcios para la investigación en colaboración.

La participación de la investigación universitaria en los presupuestos generales de investigación es insuficiente y existe una marcada tendencia de los investigadores más prestigiosos a abandonar los departamentos universitarios para ir a trabajar a institutos independientes. Pese a todo, el 70% de la investigación española tiene sede universitaria y las universidades españo-

las ingresan más de 35.000 millones de pesetas por trabajos de investigación aplicada, con un significativo crecimiento de año en año. Las oficinas de transparencia de resultados de investigación de las universidades españolas firmaron el pasado año más de 22.000 contratos de Investigación y Desarrollo (I+D) con empresas y otros organismos.

Aún así, la unión de ciencia, tecnología y técnicas económicas que simbolizamos con el binomio I+D no ha prosperado lo bastante en las universidades europeas. Vamos a asistir a una convergencia progresiva de los tres grandes principios actuales de organización de la investigación; es decir, de la excelencia científica, la demanda comercial y la decisión política, que hasta ahora se regían por lógicas diferentes. Hay buenas razones para pensar que los beneficiarios de la financiación serán cada vez menos personas físicas y cada vez más instituciones y que los proveedores de fondos aumentarán su tendencia a controlar por sí mismos la afectación de recursos lanzando grandes programas de investigación sobre problemas bien definidos. Para que la Universidad sea útil a la empresa y a las instituciones públicas tendrá que fomentar la investigación en colaboración sin abandonar por ello la ciencia académica.

Termino ya, pero déjenme que les reitere que en la Universidad Complutense estamos muy satisfechos del grado de colaboración alcanzado entre el CESEDEN y la Universidad por virtud del Convenio de Cooperación que nos vincula, que ha dado grandes frutos y los sigue dando. Al Máster en Seguridad y Defensa y a estas *Jornadas*, se ha sumado la Cátedra «Almirante Don Juan de Borbón» de Estudios de Seguridad y Defensa Nacional y, por lo tanto, tenemos sobrados motivos para celebrar este duodécimo aniversario de un vínculo necesario entre las Fuerzas Armadas y el mundo universitario. Hemos recorrido juntos un camino del que se han beneficiado ambas instituciones; pero, sobre todo, la sociedad que está en el horizonte de nuestras respectivas preocupaciones.

## ABSTRACT

Within the Cooperation Convention framework currently into effect between the Madrid Complutense University and the Higher Institute for National Defence Studies, the 12th Symposium took place in Segovia's Parador Nacional on December 13th, 14th, and 15th, 2001. The subject matter discussed at this Symposium was «Research, Development and Innovation (R & D & I) within Security and Defence».

Upon the Symposium opening the first session dealing with research, development and innovation within the Armed Forces took place. The speaker deemed the Armed Forces as essential, as well as their activities at certain circumstances. Therefore, implementing technology is absolutely necessary in order to have the appropriate equipment, weaponry and material suited for the mission to be carried out, and so as to minimise casualties as much as possible.

The speaker briefly went into the international picture as regards defence, to continue on with the status of defence research and development in Europe, in Spain, and within her Armed Forces. He closed his speech explaining what the National Institute for Aerospace Technique (INTA) is and its several features.

The existing relationship between Science and Technology in policy decision-making was presented during the second session. The speaker stated that such relationship is essential because science is the key for the new policy and it is also essential to boost political change within countries. He then presented general guidelines for scientific advice for said decision-making and he finished presenting some comments about the international projection science must be provided with.



Research, development and innovation within Spanish military space programmes were the topics dealt with during the third session. Some works carried out by INTA and Madrid Complutense University were also presented. It was then explained the military implementation of some of these works, such as HELIOS I and HISPASAT, as regards their coverage and their applications. The lecturer went on to present the new programmes having a military application, and concluded emphasising the cooperation between Defence and University and the resources provided by the Ministry of Defence to promote R & D & I.

The next speaker gave a presentation on research in Spain, describing its reality, problems and hopes. He summarised the most significant facts in the History of Science in Spain from the 16th century to the 20th century. He went on to mention the approaches carried out during the so called political transition, such as those relating to social issues, the State's pattern, the role of the Army, the Church, etc., where the issue of science and technology was greatly left aside.

In the fifth session the speaker raised the question that the term «innovation» can be approached differently, and each approach generates different action perspectives. He was of the opinion that methods and means developed by firms to introduce innovation greatly differ, considering three concentric circles that can be defined. These circles would be: control; formed by a technological core; a medium circle, which would be supplementary assets; and an outer circle corresponding to the firm environment. He ended his presentation with some thoughts about the innovation policy.

The sixth speaker discussed research development within naval hydrodynamics. He explained first of all what a vessel is as regards naval engineering, and that this engineering must guarantee that the vessel meets basic requirements as regards flotation and stability. A structure suited to cope with sea efforts, survival capacity and some operation requirements set in order to develop missions adequately must also be guaranteed. He then presented the path of research, especially as regards resistance, behaviour of vessel at sea, and CFD technology. He finished providing some examples of research being carried out at the Channel of Hydrodynamic Experiences in El Pardo.

During the next session —dealing with the Defence-Society relationship— the lecturer started from the assumption that the leadership of the Armed Forces must be kept in defence policy. He then presented his concept of

Armed Forces, stressing the significant role played by the Spanish Armed Forces in international missions. He mentioned the organising nature of the no longer existing conscription, the lack of which will make it necessary a lot of effort in order to avoid social dismembering. The speaker considered the University as a potential candidate to take up this organising role.

During the eighth and last presentation on the subject of research, development and innovation in systems engineering —and more specifically in research and development programmes within the Army— the speaker developed his presentation through a number of titles, such as the Ministry of Defence R & D Policy, sequences in R & D and a desirable schedule; implementation of programmes; tasks of key persons within programmes; and current and recent Army programmes. He concluded providing some conclusions about the problems set out.

Upon conclusion of the presentations the reporters read a summary of said presentations, after which the 12th Symposium UCM-CESEDEN was brought to a close.

## ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
SUMARIO.....	7
PRESENTACIÓN.....	9
INTRODUCCIÓN.....	13
Programa.....	15
— <i>Finalidad</i> .....	15
— <i>Dirección y organización</i> .....	15
— <i>Desarrollo de las sesiones</i> .....	17
— <i>Desarrollo del programa</i> .....	17
INAUGURACIÓN.....	21
<i>Primera sesión</i>	
INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LAS FUERZAS ARMADAS.....	25
Introducción.....	27
El panorama internacional de la defensa.....	28
La I+D de defensa en Europa.....	30
La I+D+I en España y en las Fuerzas Armadas.....	33
El INTA.....	37
— <i>Recursos económicos</i> .....	38
— <i>Personal del Instituto</i> .....	39
— <i>Áreas tecnológicas y distribución del esfuerzo del Instituto</i> .....	39
— <i>Conclusiones sobre el INTA</i> .....	40
Conclusiones.....	40

<i>Segunda sesión</i>	<i>Páginas</i>
EL DIÁLOGO CIENCIA-GOBIERNO EN LA TOMA DE DECISIONES POLÍTICAS.....	43
Introducción.....	45
El asesoramiento científico en la toma de decisiones políticas.....	45
La toma de decisiones políticas en el marco de la globalización.....	51
La comunicación del asesoramiento científico.....	53
 <i>Tercera sesión</i>	
INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LOS PROGRAMAS MILITARES ESPACIALES EN ESPAÑA.....	55
Antecedentes.....	57
Primeros programas de aplicación militar.....	58
— Programa HELIOS I.....	58
— Programa SECOMSAT.....	60
— Programa MINISAT.....	61
Nuevos programas de aplicación militar.....	64
— Nuevos programas en observación de la Tierra.....	64
— Nuevos programas en comunicaciones por satélite.....	65
Conclusiones.....	67
 <i>Cuarta sesión</i>	
LA INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA: REALIDAD, PROBLEMAS Y ES- PERANZAS.....	69
 <i>Quinta sesión</i>	
NUEVOS TEMAS DE LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN UNA PERSPECTIVA COMPARADA: DIVERSIDAD Y EFICIENCIA DE LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS.....	83
Introducción.....	85
El cambio tecnológico: pautas de análisis y marco de referencia de la economía española.....	86
La innovación tecnológica comparada de las empresas industriales españolas.....	89
Diversidad de los patrones de innovación y eficiencia económica.....	101

	<u>Páginas</u>
Conclusiones y reflexiones para la política de fomento de la innovación tecnológica.....	108
 <i>Sexta sesión</i>	
EVOLUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN EN LA HIDRODINÁMICA NAVAL	113
Introducción.....	115
Resistencia al avance.....	116
Propulsores.....	119
Maniobrabilidad.....	121
Comportamiento del buque en la mar.....	122
— <i>Olas</i> .....	123
— <i>Respuesta del buque a olas regulares</i> .....	124
— <i>Respuesta del buque a olas irregulares</i> .....	127
CFD.....	132
— <i>Cálculos CFD en carenas</i> .....	133
— <i>Cálculos CFD de predicción del comportamiento del buque en la mar y maniobrabilidad</i> .....	136
— <i>CFD en propulsores</i> .....	139
— <i>Comentario sobre los cálculos CFD</i> .....	141
Ejemplos de investigaciones del CEHIPAR de realización inmediata	142
— <i>Método de predicción de embarque de agua en cubierta</i> .....	143
— <i>Sistema de evacuación de buques de pasaje</i> .....	144
— <i>Interacción entre buques</i> .....	146
 <i>Séptima sesión</i>	
REFLEXIONES SOBRE LA RELACIÓN DEFENSA-UNIVERSIDAD.....	149
 <i>Octava sesión</i>	
INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I) EN LA INGENIERÍA DE SISTEMAS. (LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO (I+D) EN EL EJÉRCITO DE TIERRA).....	157
Introducción.....	159
Política de I+D en Defensa.....	160
— <i>Evolución del presupuesto de I+D</i> .....	162

	<u>Páginas</u>
Responsables de I+D dentro de las Fuerzas Armadas.....	164
Secuencia de un programa de I+D.....	165
— <i>Calendario de actividades de las etapas A, B y C</i> .....	167
Ejecución de los programas de I+D.....	168
— <i>Ciclo de vida de un sistema en la Ingeniería de Sistemas</i> .....	168
— <i>Metodología</i> .....	169
— <i>Consecuencias del I+D en los programas de adquisiciones</i> .....	173
Personal clave en un programa de I+D.....	174
— <i>Jefe de programa</i> .....	174
— <i>Director técnico</i> .....	175
— <i>Representate del área de inspecciones industriales</i> .....	175
— <i>Representate del órgano gestor</i> .....	175
— <i>Otros</i> .....	176
Los programas de I+D dentro del Ejército.....	177
— <i>Programas de I+D activos o de reciente finalización</i> .....	177
— <i>Programas propuestos recientemente</i> .....	178
Conclusiones bajo la óptica de la Ingeniería de Sistemas.....	179
RESUMEN.....	183
CLAUSURA.....	201
ABSTRACT.....	207
ÍNDICE.....	211

## RELACIÓN DE MONOGRAFÍAS DEL CESEDEN

- \*1. Clausewitz y su entorno intelectual. (Kant, Kutz, Guibert, Ficht, Moltke, Sehlieffen y Lenia).
- \*2. Las conversaciones de desarme convencional (CFE).
- \*3. Disuasión convencional y conducción de conflictos: el caso de Israel y Siria en el Líbano.
- \*4. Cinco sociólogos de interes militar.
- \*5. Primeras Jornadas de Defensa Nacional.
- \*6. Prospectiva sobre cambios políticos en la antigua URSS. (Escuela de Estados Mayores Conjuntos. XXIV Curso 91/92).
7. Cuatro aspectos de la Defensa Nacional. (Una visión universitaria).
8. Segundas Jornadas de Defensa Nacional.
9. IX y X Jornadas CESEDEN-IDN de Lisboa.
10. XI y XII Jornadas CESEDEN-IDN de Lisboa.
11. Anthology of the essays. (Antología de textos en inglés).
12. XIII Jornadas CESEDEN-IDN de Portugal. La seguridad de la Europa Central y la Alianza Atlántica.
13. Terceras Jornadas de Defensa Nacional.
- \*14. II Jornadas de Historia Militar. La presencia militar española en Cuba (1868-1895).
- \*15. La crisis de los Balcanes.
16. La Política Europea de Seguridad Común (PESC) y la Defensa.
17. Second anthology of the essays. (Antología de textos en inglés).
18. Las misiones de paz de la ONU.
19. III Jornadas de Historia Militar. Melilla en la historia militar española.
20. Cuartas Jornadas de Defensa Nacional.
21. La Conferencia Intergubernamental y de la Seguridad Común Europea.
22. El Ejército y la Armada de Felipe II, ante el IV centenario de su muerte.

23. V Jornadas de Defensa Nacional.
24. Altos estudios militares ante las nuevas misiones para las Fuerzas Armadas.
25. Utilización de la estructura del transporte para facilitar el cumplimiento de las misiones de las Fuerzas Armadas.
26. Valoración estratégica del estrecho de Gibraltar.
27. La convergencia de intereses de seguridad y defensa entre las Comunidades Europeas y Atlánticas.
28. Europa y el Mediterráneo en el umbral del siglo XXI.
29. El Ejército y la Armada en 1898: Cuba, Puerto Rico y Filipinas.
30. Un estudio sobre el futuro de la no-proliferación.
31. El islam: presente y futuro.
32. Comunidad Iberoamericana en el ámbito de la defensa.
33. La Unión Europea Occidental tras Amsterdam y Madrid.
34. Iberoamérica, un reto para España y la Unión Europea en la próxima década.
35. La seguridad en el Mediterráneo. (Coloquios C-4/1999).
36. Marco normativo en que se desarrollan las operaciones militares.
37. Aproximación estratégica española a la última frontera: La Antártida.
38. Modelo de seguridad y defensa en Europa en el próximo siglo.
39. La Aviación en la guerra española.
40. Retos a la seguridad en el cambio de siglo. (Armas, migraciones y comunicaciones).
41. La convivencia en el Mediterráneo Occidental en el siglo XXI.
42. La seguridad en el Mediterráneo. (Coloquios C-4/2000).
43. Rusia: conflictos y perspectivas.
44. Medidas de confianza para la convivencia en el Mediterráneo Occidental.



45. La cooperación Fuerzas de Seguridad-Fuerzas Armadas frente a los riesgos emergentes.
46. La ética en las nuevas misiones de las Fuerzas Armadas.
47. Operaciones anfibias de Gallípolis a las Malvinas.
48. La Unión Europea: logros y desafíos.
49. La seguridad en Mediterráneo. (Coloquios C-4/2001).
50. Un nuevo concepto de la defensa para el siglo XXI.
51. Influencia rusa en su entorno geopolítico.
52. Inmigración y seguridad en el Mediterráneo: el caso español.
53. Cooperación con Iberoamérica en el ámbito militar.
54. Retos a la consolidación de la Unión Europea.
55. Revisión de la Defensa Nacional.

---

\* Agotado. Disponible en las bibliotecas especializadas y en el Centro de Documentación del Ministerio de Defensa.