

REFLEXIONES SOBRE TECNOLOGÍA  
Y DEFENSA EN EL SIGLO XXI.  
EL COMBATIENTE DIGITAL

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

REFLEXIONES SOBRE TECNOLOGÍA  
Y DEFENSA EN EL SIGLO XXI.  
EL COMBATIENTE DIGITAL

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

**EXCMO. SR. D. JOSÉ MANUEL SANJURJO JUL**

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA  
EL DÍA 27 OCTUBRE DE 2009

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

**EXCMO. SR. D. RICARDO TORRÓN DURÁN**



MADRID MMIX

Editado por la Real Academia de Ingeniería

© 2009, Real Academia de Ingeniería

© 2009 del texto, José Manuel Sanjurjo Jul y Ricardo Torrón Durán

ISBN: 978-84-95662-xxxxxx

Depósito legal: M-xxxxxxx-2009

Impreso en España

## ÍNDICE

PRESENTACIÓN .....	7
LA REVOLUCIÓN DIGITAL. ÁTOMOS, NEURONAS Y BITS .....	10
El mundo está cambiando .....	10
Un cambio no homogéneo .....	10
La percepción del cambio .....	11
Los motores del cambio .....	12
La revolución digital .....	13
La tiranía de Moore, hormigas y transistores .....	14
EL IMPACTO DE LA DEFENSA. EL COMBATE DIGITAL .....	16
¿Puede el mundo de la defensa mantenerse al margen de la revolución digital?	16
Por fin el combate digital, un sistema de sistemas .....	18
Conectividad. Enchufar y combatir .....	20
Automatización y Robotización .....	22
La robotización del espacio de batalla digital .....	23
Cerebros analógicos en un mundo digital .....	24
De autómatas jugadores de ajedrez y de androides .....	26
Energía para el combate digital .....	27
Algunas consideraciones sobre ingeniería de sostenimiento en la era de la información .....	30
NUEVAS TECNOLOGÍAS, NUEVAS AMENAZAS .....	32
El Pearl Harbor digital .....	32
CONSIDERACIONES ÉTICAS, LEGALES Y SOCIALES .....	33
Del cambio de neuronas por bits .....	34
De la integración de bits y neuronas .....	34
REFLEXIONES FINALES .....	35
De la guerra .....	35
En el ámbito general .....	34
CONTESTACIÓN .....	39

Excelentísimo Señor Presidente de la Real Academia de Ingeniería  
Excelentísimos señoras y señores Académicos  
Señoras y señores.

Ante todo quiero agradecer a todas las autoridades, a mis compañeros, a mis amigos y a mi familia, y muy especialmente a mi esposa María Jesús que hoy aquí con su presencia han venido a dar testimonio de la importancia que para mí tiene este acto.

Permítaseme comenzar expresando mi gratitud por el gran honor que supone el haber sido elegido para pertenecer a la Real Academia de Ingeniería; honor como ingeniero militar y honor como oficial de la Armada.

Además de un honor es también una gran responsabilidad. Una responsabilidad porque soy absolutamente consciente de que el nombramiento no sólo recae en mí como individuo, sino como representante de la comunidad de la ingeniería de defensa. Es por ello que considero que mi contribución a la Academia debe ser precisamente en este campo, aportando tanto la experiencia como la perspectiva del ingeniero militar.

Mi compromiso con esta Academia es, como lo ha sido siempre en mi carrera en la Armada, asumir el nombramiento con espíritu de servicio, porque estoy absolutamente convencido de que servir a la Academia es servir a la sociedad, y a la Nación.

La medalla número XXV que recibo de la Real Academia esta vacante por el paso a la categoría de supernumerario del Excmo Sr. don Francisco García Olmedo; y al rendir a este ilustre Académico el merecido homenaje a sus meritos como autoridad internacionalmente reconocida en genética y a sus dotes de poeta, le ruego de antemano su benevolencia por las imprecisiones que pueda cometer, cuando a lo largo de mi discurso haga alguna referencia a la ingeniería genética.

Cuando propuse a la consideración de esta Academia que mi discurso fuese una reflexión acerca de la relación entre tecnología y defensa en este siglo, era perfectamente consciente del calado del mar en el que iba a sumergirme. Un tema de tal extensión y profundidad requiere una inmersión entre dos aguas. Ni mantenerse a cota periscópica, de manera que pueda resultar un discurso banal, ni descender a cotas que lo hagan ininteligible para los no especialistas. Así que lo acotaré en extensión, circunscribiéndome a las tecnologías convencionales más directamente relacionadas con la defensa y excluyendo la biotecnología y la tecnología nuclear; y procuraré no entusiasmarme ni profundizar en los temas propios de mi profesión.

El otro propósito que me he impuesto es evitar el lenguaje esotérico de siglas, solo para iniciados, que hoy domina el mundo de la defensa. En cualquier caso, este discurso no pretende ser más que lo que fue inicialmente su intención, una simple reflexión; ni elaborar un catálogo exhaustivo de tecnologías de aplicación a la defensa, ni mucho menos predecir como van a ser las armas del siglo XXI.

Creo que, cuando estamos a punto de dejar atrás el primer decenio de este siglo, es necesario reflexionar acerca de la evolución de la tecnología y de cual será su papel en el ámbito de la defensa, a sabiendas de que la reflexión en nuestra sociedad, en la que vivimos una aceleración de la vida social y profesional, un sentido de urgencia para todo, un “cuanto más rápido, mejor”, no es una tarea fácil. Pero hoy, más que nunca, resulta imprescindible, es nuestra responsabilidad, mantener el equilibrio entre la acción y la reflexión, y encontrar un momento de necesaria paz y serenidad mental que nos permita entender qué es lo que está pasando a nuestro alrededor. ¡Y están ocurriendo muchas cosas!

Durante el presente siglo asistiremos a un desarrollo exponencial de muchas de las actuales tecnologías, al definitivo establecimiento de las aún incipientes –algunas de las cuales tomarán el relevo de las que se encuentran al término de su ciclo de vida– y al nacimiento de otras nuevas que hoy están sólo en el ámbito de la especulación y de la ciencia ficción.

De nuestra capacidad y habilidad para entender, asimilar y gestionar los enormes cambios científicos y tecnológicos que se van a producir en este

siglo, va a depender la posición que ocupemos en el orden internacional, nuestra riqueza, nuestro bienestar y en última instancia, nuestra defensa.

Este escenario de profundos cambios científicos y técnicos, es a la vez un espacio de oportunidades, de retos y de amenazas para nuestra seguridad nacional. Cuanto mayor sea nuestra disposición para prever y entender el alcance de los cambios que se avecinan, en mejor situación estaremos para aprovechar las oportunidades, afrontar los retos y confrontar las amenazas.

En el ámbito de la defensa, la ventaja competitiva del combatiente del siglo XXI sólo puede ser la tecnología, y muy especialmente, la tecnología digital. El combatiente de este siglo será *un combatiente digital*. Un combatiente cuya eficacia no podrá depender ni del número ni de la masa. Menos numeroso, pero más ligero y veloz para formar una masa crítica de fuerza en cualquier lugar del globo en el mínimo tiempo posible. Su superioridad en potencia de fuego no dependerá de la saturación, sino de la precisión y el alcance. Pero su verdadera ventaja radicará en la conectividad global en tiempo real a lo que llamaremos el *espacio de combate integrado virtual*, lo que le proporcionará una información y conocimiento dinámico del escenario del conflicto como jamás haya tenido ningún otro combatiente en la Historia.

La tesis de mi discurso y el hilo conductor de su posterior desarrollo, es que la revolución digital es el verdadero motor de los profundos cambios científicos y técnicos que estamos viviendo, de cómo esta revolución transformará a su vez el proceso completo de la defensa (equipamiento, doctrina, organización y logística), y de cómo cambiará radicalmente la manera en que combatimos. Comentaré superficialmente las nuevas amenazas cibernéticas que tratarán de explotar la vulnerabilidad de nuestra sociedad digitalizada. Para finalizar con unas reflexiones sobre los aspectos éticos y morales que nos planteará la revolución digital.

## La revolución digital. Átomos, neuronas y bits

*El mundo está cambiando*

¡Qué el mundo está cambiando, no es un tópico! Nos encontramos inmersos en la mayor transformación científica y técnica de la Historia de la humanidad; transformación sin precedentes por su extensión, por la índole de los cambios y por la rapidez con la que se están produciendo. Para una mayoría de autores, lo que estamos viviendo es la transición desde la última fase de la revolución industrial a una nueva era, *la era de la información*, e incluso para otros esa fase está ya superada por la de la *post información*.

(Quiero aprovechar para hacer un comentario al margen, que ilustra el interés que despierta este tema en el planeta: buscar la frase "information age" en Internet resulta en 176 millones de lugares de consulta).

Las verdaderas causas del cambio son en primer lugar la tasa de acumulación del conocimiento en la humanidad, y en segundo lugar, la facilidad de su difusión y acceso (Internet juega un enorme papel en este proceso). Se estima que el conocimiento total de la humanidad se está duplicando cada década, y resulta bastante intuitivo el hecho de que alcanzado un cierto nivel crítico, los avances en una disciplina generan a su vez progresos en otras áreas creándose así un sistema que se auto realimenta con resultados exponenciales.

Los avances realizados en la última década en descifrar el macrocosmos y el microcosmos son sorprendentes. Y qué decir del conocimiento de nosotros mismos, hemos descifrado el genoma humano y acumulado un enorme corpus de conocimiento de la anatomía, fisiología y funcionalidad de nuestro cerebro.

*Un cambio no homogéneo*

El cambio no es homogéneo ni en todas las áreas técnicas, ni en todas las regiones geográficas y menos aún en los diferentes sectores industriales. Como norma general cuanto mayor es la utilización de técnicas digitales, mayor es la transformación.

Como ha ocurrido en los anteriores grandes cambios en la humanidad, y aunque ahora vivimos en un mundo globalizado que favorece la difusión de las ideas, estas transformaciones afectan al propio tejido social de las comunidades implicadas, normalmente reacias a cambios bruscos, y por lo tanto no podemos esperar que tengan una difusión geográfica ni temporalmente homogénea. Por eso asistimos a la convivencia de modos de la era industrial con modelos de la nueva era.

Esta convivencia genera las lógicas tensiones sociales causadas por la redistribución geográfica de los medios de producción dictados simplemente por las leyes de la economía de mercado. La razón fundamental es que los centros fabriles de la era industrial por su propia naturaleza, a pesar de la mayor o menor automatización que puedan haber sufrido, siguen basándose en mano de obra numerosa en la que predominan las titulaciones medio–bajas, mientras que las industrias de la era de la información fundamentan su actividad en el conocimiento y por lo tanto en personal con titulaciones superiores. El efecto inevitable es una tendencia centrífuga para los primeros, hacia zonas con salarios más bajos, y centrípeta para las segundas, hacia *zonas de concentración de conocimiento* que a su vez generan un tejido industrial de alta tecnología.

Este fenómeno, aunque es eminentemente social, tiene una gran importancia para la base industrial de la defensa, ya que, en general, las plataformas navales y terrestres se producen en centros de la era industrial – aunque la actividad de integrar en ellas sistemas puede considerarse una actividad de alta tecnología – mientras que las plataformas aéreas y los sistemas se producen en industrias de la era de la información. Volveré más tarde sobre este tema.

### *La percepción del cambio*

La transformación científica y técnica afecta en mayor o menor medida a todos los ámbitos de la actividad humana. La tecnología está omnipresente en nuestras vidas: controla nuestra salud, nuestro dinero, nuestras comunicaciones, educa a nuestros hijos, ocupa nuestro ocio, se ha hecho imprescindible para el desarrollo de nuestra vida profesional, supervisa nuestras obligaciones como ciudadanos, y vela por nuestra defensa.

Para el público en general, el efecto mas visible de esta profunda transformación es el espectacular avance en las tecnologías de la información, que el ciudadano de la calle percibe por los artefactos que están a su alcance: el ordenador personal cada vez mas potente, conexión a Internet con cada vez más ancho de banda, y por encima de todo el teléfono móvil, que le proporciona una conectividad impensable hace pocos años.

### *Los motores del cambio*

Pero a lo que estamos asistiendo es mucho más que una revolución de las tecnologías de la información y la posibilidad de tener teléfonos móviles más o menos capaces o llamativos. A lo que realmente estamos asistiendo es al efecto de una *acumulación exponencial del conocimiento*, que a su vez producirá avances, que aunque de momento no sean tan visibles, producirán cambios mucho más profundos a lo largo del siglo.

¿Por qué se está produciendo la acumulación del conocimiento de forma geométrica? La explosión del conocimiento la está propiciando el que disponemos de la tecnología para almacenar cantidades ingentes de información, procesarla en periodos muy cortos y distribuirla globalmente y casi instantáneamente; en otras palabras nos estamos *digitalizando*.

Durante este siglo asistiremos a una extraordinaria generalización del empleo y a avances de la *digitalización* y de sus aplicaciones, a un desarrollo inimaginable de la genética, y la explosión de la *nanotecnología*. La nanotecnología tendrá un papel creciente e incidirá a su vez, en el desarrollo e otras muchas áreas, una de las cuales, *la tecnología del hidrógeno*, por su interés para la defensa, la trataré en un apartado dedicado a la energía. Asimismo también analizare posteriormente *la inteligencia artificial y la robótica*, dos campos de desarrollo de enorme interés para la ingeniería militar.

Sería ir demasiado lejos considerar, la ingeniería genética, como una tecnología de aplicación a la defensa –lo cual no implica que el día de mañana sí se considere– y por lo tanto no será materia de este discurso. No obstante, por su trascendencia, el tema se merece una reflexión, entre otras cosas porque existe cierto paralelismo filosófico entre la digitalización y la ingeniería genética, ya que en el fondo la digitalización es reducir la infor-

mación a la mínima expresión manejable: bits; y la ingeniería genética es manejar la mínima unidad de información biológica: genes. Otro paralelismo con la digitalización es el carácter exponencial de los desarrollos en este campo, de hecho el Human Genome Project, contra todo pronóstico, se completó en menos tiempo del previsto, debido precisamente al efecto exponencial que produce la acumulación de conocimientos. Ahora que el "*Homo sapiens*" ya conoce "sus propias especificaciones técnicas de contrato" y la tecnología para producir genes sintéticos puede estar al alcance de nuestra mano, y quitar y poner genes en cadenas de ADN es ya una realidad, la puerta del jardín del bien y del mal está abierta, ¿Quién la va a controlar?

### *La revolución digital*

La digitalización merece capítulo aparte, ya que como ya indiqué será la cabeza tractora del cambio. Lo que realmente va a cambiar nuestra sociedad durante este siglo es la revolución digital causada por la extensa utilización de las técnicas de digitalización en todas las esferas de la actividad humana, incluyendo la defensa. El siglo XXI será un siglo digital.

Técnicamente la digitalización es un conjunto de técnicas que traducen la información analógica –texto, sonido, fotografías, películas, radiografías, gráficos, etc.– a bits, lo que presenta una clara ventaja: permite el tratamiento matemático de la información, facilitando su almacenamiento, reproducción y distribución.

Para entender el verdadero efecto de la digitalización permítaseme citar a Nicholas Negroponte, que enunció en su famoso libro "Being digital" que el principio filosófico de esta revolución es "cambiar átomos por bits". Aunque estamos viviendo en la era de la información, gran parte de ella nos llega de la "galaxia Gutenberg", en papel impreso: periódico, revistas, libros, informes, fotos, planos, propaganda, recibos... ¡Átomos! Aún arrastramos el lastre cultural de que lo que es "oficial" tiene que estar impreso en papel y firmado!, y así es como todavía funciona gran parte de la burocracia.

Pero la tendencia es claramente en otro sentido. La firma electrónica se empieza a generalizar en la administración, cada vez son más las revistas

que deciden editarse sólo a través de Internet, la fotografía en formato digital está prácticamente estandarizada, comienza a popularizarse la descarga digital de libros... ¡Bits!

Sin embargo el verdadero efecto revolucionario de la digitalización es el impacto en el desarrollo de numerosas disciplinas de la ciencia y de la ingeniería. Imposible enumerar ni siquiera someramente la cantidad de aplicaciones en las que utilizamos técnicas de digitalización para generar conocimiento. Por ejemplo, las herramientas esenciales para el diseño en la ingeniería como el CADS (computer aided design), los modelos de cálculo por elementos finitos, la creciente tendencia de recurrir a predicciones aerodinámicas, hidrodinámicas, de balística de efectos... mediante modelos de simulación, en vez de pruebas con prototipos es cambiar átomos por bits.

Aunque yo me atrevería incluso a ir mas lejos que Negroponte y enunciar que esta revolución no se limita únicamente a cambiar átomos por bits, es también "cambiar neuronas por bits". Es decir, transferir funciones mentales humanas a procesadores digitales. Y aquí entra en escena uno de los temas fundamentales de la revolución digital que va tener el efecto más profundo en los cambios que veremos en este siglo: la *inteligencia artificial*. Cuando trate el tema de la automatización y robotización volveré al tema

Antes de eso, todavía hay otro paso aún más inquietante, que es el *de integrar neuronas y bits*, es decir, implantar tecnología digital en el cerebro humano –no con fines médicos, lo que ya se inicia actualmente aunque a escala experimental– sino para potenciar ciertas capacidades humanas.

#### *La tiranía de Moore, hormigas y transistores*

El núcleo de la revolución digital, lo que realmente la hace posible, es el microprocesador. Este componente, sigue una línea evolutiva que se remonta al descubrimiento del transistor en 1947 que sigue en 1959 con la fabricación de los primeros transistores con tecnología "waffer", en 1961 con el primer circuito integrado en una oblea que marca el comienzo de la fabricación de microprocesadores.

En 1965 Gordon Moore enuncia su mítica ley en la que predecía que la capacidad de proceso de estos componentes se duplicaría cada dos años. Esta ley que aún se sigue cumpliendo, no sólo para los microprocesadores sino para los demás componentes electrónicos básicos, explica el crecimiento exponencial que a su vez se ha producido en diversos campos de la ciencia, la técnica y la ingeniería que dependían de disponer de potencia de cálculo para su desarrollo.

Para ahondar aún más en las consecuencias de este crecimiento exponencial, examinemos algunos datos suministrados por el propio Moore ante un simposio de la IEEE "solid state circuits conference", celebrado en el 2003:

- En 1968 un transistor costaba un dólar. En el 2002 por un dólar se podían comprar 50 millones de transistores.
- Hasta 2002 se habían producido  $10^{18}$  transistores, dado que se estima que en el planeta viven  $10^{17}$  hormigas, a cada una de ellas le corresponderían diez transistores (reproduzco el comentario del propio Moore durante la ponencia).
- En términos de prestaciones en MIPS, cada veinte meses se duplica la capacidad de los nuevos componentes.

Sin embargo fue el propio Moore el que anunció durante su ponencia que si no se cambiaba radicalmente de tecnología de fabricación de microprocesadores –de hecho su ponencia se denominaba *no exponential is for ever*– se estaba llegando a los límites de la física y su ley podría dejar de cumplirse alrededor del 2020. Sin embargo la experiencia demuestra que el crecimiento de la tecnología en su conjunto es exponencial, y cuando una se agota y llega al límite de sus posibilidades, otra toma el relevo. De hecho en este tema hay ya varios candidatos compitiendo para el fabuloso premio del relevo.

Moore solamente se refería en su ley empírica al crecimiento de las prestaciones del soporte físico (*hardware*), sin embargo la parte visible de la capacidad de los ordenadores es el soporte lógico (*software*). ¿Pero puede el desarrollo de *software*, seguir a Moore? Fue Nathan Myhrvold el que vino a darle la réplica a Moore enunciando que "el *software* crece en tamaño y complejidad a una velocidad superior a la ley de Moore".

Creo que llegados a este momento, y sin la más mínima intención de teorizar, podemos formular, que la acumulación geométrica del conocimiento está causada por la digitalización y en particular por la capacidad de proceso, que a su vez sigue la ley exponencial de Moore.

### **El impacto en la defensa. El combate digital**

A esta altura de mi discurso, espero haber sido capaz de transmitir la idea del potencial de la *digitalización* como factor impulsor, dinamizante y multiplicador del conocimiento científico y del desarrollo técnico, para pasar a continuación a particularizar sobre su efecto en el ámbito de la defensa.

Si se me permite recapitular, lo que posibilitó emprender la digitalización a gran escala, fue el enorme aumento en las dos últimas décadas de la capacidad de proceso del microprocesador y a la perspectiva de que esta capacidad continuará creciendo en el futuro siguiendo la ley de Moore. Detrás de este sorprendente fenómeno, está el espíritu innovador y el permanente esfuerzo de actualización de la tecnología de fabricación, que la industria de este sector ha sido capaz de mantener. El resultado palpable, es que cada veinte meses existe en el mercado una nueva generación, con el doble de la capacidad de proceso manteniendo prácticamente el precio.

*¿Puede el mundo de la defensa mantenerse al margen de la revolución digital?*

La respuesta es claramente no, la revolución digital está ya causando una profunda transformación en los ejércitos. El reto principal, es definir un nuevo concepto de combate que consiga obtener la máxima ventaja competitiva de la utilización de las tecnologías de la información. Y paralelamente, analizar las implicaciones de su materialización, ¿cómo deben de ser nuestros futuros sistemas de armas? ¿Cuál debe ser la estrategia de diseño y desarrollo en un escenario de cambios tan profundos? ¿Cómo afrontar el ciclo de renovación tecnológica que nos impone la revolución digital?. Estas cuestiones las trataré más adelante en un apartado específico.

Los cambios revolucionarios en la tecnología bélica no son ni mucho menos algo nuevo en la Historia; en el pasado ha habido transformaciones

de gran repercusión, y desde luego una de las que produjo mayores efectos, fue la aparición de la artillería en el siglo XV. El impacto de esta revolución tecnológica, se hizo sentir no sólo en el ámbito militar (por su repercusión, recuérdese que fue la nueva tecnología la que al final terminó con las invencibles murallas de Constantinopla), sino también en el político e incluso social —como dice Carlo Cipolla, la supremacía europea en la época de los descubrimientos y posterior expansión, fue debida a las velas y los cañones—. Sin olvidar que la fabricación de la enorme cantidad de artillería de hierro que demandaban los buques de línea del XVIII, fue el aliciente para el desarrollo del alto horno, el embrión de la siderurgia y a la postre de la revolución industrial.

Por eso, antes de entrar a reflexionar de cómo los cambios técnicos de nuestro siglo, y muy en particular la revolución digital, van a afectar al proceso de la defensa, no me puedo resistir a citar el discurso de don Quijote sobre las armas y las letras, porque en el fondo refleja una situación que tiene cierto paralelismo con la actual.

Se lamenta amargamente el hidalgo, de los efectos que estaba teniendo el empleo generalizado de las armas de fuego y de la artillería sobre la institución del caballero. Discurso injusto, creo yo, hacia el nuevo combatiente “artillero”, porque tanto el infante armado con mosquete, como el artillero “aguantando al pie del cañón” requerían de un gran valor para resistir en su puesto una carga de caballería.

Decía don Quijote:

Bien hayan aquellos benditos siglos que carecieron de la espantable furia de aquellos endemoniados instrumentos de la artillería, a cuyo inventor tengo para mí que en el infierno se le esta dándole premio de su diabólica invención, con lo cual dio causa que un infame y cobarde brazo quite la vida a un valeroso caballero, y que sin saber como y por donde, en la mitad del coraje y brío que enciende y anima a los valientes pechos, llega una desbandada bala (disparada de quien quizá huyo y se espanto del resplandor que hizo el fuego al disparar de la maldita máquina).

Y continúa...

y así, considerando esto, estoy por decir que en el alma me pesa de haber tomado este ejercicio de caballero andante en edad tan detestable como esta que ahora vivimos...

No sé cuál podría ser hoy el tono del discurso, porque los cambios serán en términos relativos, bastante más radicales que los que amenazaban a los fundamentos de la caballería andante, lo que tanto turbaban a don Quijote. ¿Qué diría nuestro caballero si viese hoy a robots maniobrando en el campo de batalla?

La influencia de la revolución digital en el proceso de la defensa, está siendo objeto de un amplio debate en todos los países de nuestro entorno (otra vez utilizando Internet como un indicador de interés, existen 12 millones de páginas en inglés sobre este tema). En mayor o menor medida, todos nuestros aliados han emprendido una profunda revisión y transformación de sus fuerzas armadas, para adaptarlas a combatir en un mundo digital. La revisión abarca a todos los aspectos del proceso: doctrina, adiestramiento, equipamiento, logística, diseño de los futuros sistemas de armas...etc.

¿Qué es lo que está causando que estemos revisando tan a fondo todo el concepto de combatir? ¿Por qué cambiamos? ¿Existe una amenaza tan inminente y formidable que nos obligue a una transformación tan profunda? En este caso histórico, no es la amenaza la que nos impulsa al cambio, es más bien el cambio tecnológico que está experimentando la sociedad en general, o para ser más precisos, la presión del mercado. Cambiamos porque nos arrastra el tsunami de la *revolución digital*.

*Por fin el combatiente digital, un sistema de sistemas*

El *combatiente digital*, es el paradigma del concepto de combate emergente de la amplia utilización en el campo de batalla de la digitalización. El concepto es simple, consiste en *crear un espacio de combate integrado virtual* (virtual porque el soporte material y lógico del sistema esta distribuido en una amplia área geográfica) del teatro de operaciones conectando todos los sensores, todos los nodos de proceso, todas las plataformas (tripuladas o no tripuladas), recursos espaciales y todas las armas inteligentes mediante un tejido de redes de alto ancho de banda que permite intercambiar información de alta calidad en tiempo real.

La idea central del concepto es en realidad crear una inteligencia virtual formada por la integración de la inteligencia humana (operadores) y arti-

ficial (automatización en los nodos de proceso), capaz de recolectar información del medio (el espacio de combate) mediante todos los sensores disponibles para procesarla y tomar las correspondientes decisiones, maniobras, ataques con armas, etc., un gran sistema virtual de sistemas. Elaborar una percepción del teatro de operaciones mediante elementos sensoriales, procesar la información y activar las respuestas motoras específicas, ¿No es esto una forma de cerebro virtual?

La propia sencillez y elegancia de este modelo conceptual, oculta la enorme complejidad técnica de su implementación y de su posterior evolución. El concepto es factible hoy en día por la facilidad de convertir en bits la información facilitada por cualquier sensor –radar, óptico, infrarrojo, sónar, . . . etc.– procesarla, presentársela al operador humano, almacenarla, filtrarla y distribuirla por canales de gran ancho de banda del tejido de redes.

Sin embargo, hay que entender que estamos hablando de un marco conceptual, en el que no se parte desde cero, ya que existen actualmente en servicio sistemas y subsistemas y redes de comunicaciones que difícilmente encajarían en este marco, pero que tendrán que convivir con nosotros durante años. Otra dificultad técnica de partida, que es inherente a la tecnología digital es que estará sujeto a los ciclos de renovación tecnológica que nos imponga el mercado, lo que exigirá una constante revisión. Por último, el concepto tendrá que ir necesariamente evolucionando a medida que disponemos de aplicaciones de inteligencia artificial más complejas que mejorarán los procesos de automatización.

En definitiva, este será un concepto evolutivo sujeto a permanentes revisiones dictadas por la presión del mercado, los ciclos de renovación tecnológicos, la necesidad de interoperatividad y de convivir con sistemas ya en servicio. Sin embargo el marco conceptual para la evolución esta ya trazado.

Una vez implementado un verdadero espacio de combate integrado virtual las ventajas para el combatiente son evidentes:

- Se creará una visión total e integrada del entorno del teatro de operaciones con la misma referencia espacial y temporal. Todos los participantes tendrán acceso a la parte que les concierne, pero todos estarán compartiendo la misma visión de la realidad: dónde están las

fuerzas propias, dónde las enemigas, cómo están maniobrando, cuáles suponen una amenaza inminente, etc. ¡Se cumple el sueño dorado de todo combatiente, ver lo que hay mas allá de la colina! (Liddel Hart). Esto es lo que hoy en día se denomina, la superioridad del conocimiento del espacio de combate.

- El que se logra una visión total del espacio de combate tiene la clara ventaja que va por delante del oponente en cualquier maniobra.
- El tiempo de reacción para las decisiones de mando y control se acortará considerablemente. Se despeja “la niebla de la guerra” (Clau-sewitz).
- La asignación del arma óptima al blanco más amenazante se realizará automáticamente sin tener que seguir los procesos burocráticos habituales.
- Se conectará la logística con la fuerza de la manera más eficiente.

La creciente miniaturización de toda la electrónica digital facilitará nuevos desarrollos en el campo de las armas inteligentes, mejorando la precisión y discriminación de blancos; características clave para dotar al combatiente de mayor potencia de fuego basada en la información y no en el concepto de saturación.

En este nuevo concepto, el combatiente digital tiene que aprender a pensar y actuar de acuerdo con las capacidades que le proporciona el sistema de combate integrado virtual y no únicamente en las suyas propias o en las de su plataforma. La ventaja competitiva no es su capacidad de combate individual, de su carro, de su avión o de su fragata, sino en el efecto multiplicador y la sinergia cuando actúan como nodos del sistema de sistemas virtual formado por la interconexión del tejido de redes.

Los pilares del concepto de combatiente digital, son *la conectividad y la automatización*.

### *Conectividad. Enchufar y combatir*

La conectividad es la capacidad que tienen todos los elementos del espacio de combate integrado para poder establecer enlace e intercambiar datos. Lo que le va a dar al futuro combatiente su potencialidad, es la capa-

cidad y la facilidad de conectarse al tejido de redes mediante el acceso global inalámbrico en tiempo real con gran ancho de banda; esto es la esencia de la conectividad.

Proporcionar alcance global con alto ancho de banda requiere disponer de una constelación de satélites posicionados para darle cobertura al conflicto. Hay que esperar que en el futuro, a medida que la implementación del concepto evolucione, las exigencias de ancho de banda aumenten de manera geométrica y que haya que recurrir a otros tipos con enlaces láser u otras tecnologías. Esta capacidad no va a ser asumible por un único país, desde luego no por el nuestro, por lo que habrá que pensar en términos de que la conectividad debe de ser multinacional. Esto nos lleva a una conclusión inmediata que *nuestro combatiente digital tiene que ser inter operable con nuestros aliados*.

Piénsese, por un momento, en un espacio de combate multinacional con fuerzas terrestres, navales y aéreas, con robots sobre el terreno, y vehículos aéreos no tripulados; el tejido de redes de datos puede ser realmente complejo y a pesar de la interoperabilidad, conseguir la conectividad puede llevar horas. En el futuro la tecnología tiene que resolver que las redes se autoconfiguren, para el utilizador tiene que ser algo tan sencillo como *enchufar y combatir*.

Me gustaría hacer una última consideración; la conectividad en el mundo digital es un diálogo entre máquinas que se intercambian sus propios mensajes según sus propios protocolos. Para los operadores, el proceso es opaco y lo único que nos es visible es la interface que nos permite dialogar con un terminal. Pues bien, prácticamente la única manera en la que podemos dialogar hoy por hoy con nuestros ordenadores es mediante un teclado alfanumérico o una pantalla táctil. Cualquiera de las dos soluciones ocupa las manos del operador y durante unos segundos distraen su atención del medio, y esto en un momento crítico de un combate puede ser una cuestión de vida o muerte.

En el futuro, la manera natural de comunicarnos con una máquina deberá ser la palabra, sin descartar otras relacionadas con nuestro lenguaje corporal, como indicarle a la máquina en que dirección miramos (este tipo de comunicación se está ya empleando en sistemas de armas) o yendo más

lejos, mediante sencillas órdenes mentales. Estoy completamente convencido que en las próximas décadas veremos avances significativos en esta área.

### *Automatización y Robotización*

La automatización de procesos y de funciones no es realmente una novedad, ya que se viene empleando en innumerables sistemas militares; automatismos analógicos que implementaban esquemas lógicos mediante elementos mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos llevan en servicio casi cien años, por ejemplo, los calculadores analógicos de las direcciones de tiro de artillería, ¡verdaderas proezas de la ingeniería!

Pero la automatización mediante el procesado de datos digitales es relativamente reciente, y como todos los procesos digitales, su utilización tiende a crecer de modo exponencial en extensión y en complejidad. Con el fin de facilitar la comprensión del tema, voy a considerar tres aspectos diferentes de su aplicación militar:

- El primer campo de aplicación es en los “nodos” del *espacio de combate integrado virtual*, recuérdese que lo que llamamos nodos pueden tener a su vez la complejidad del sistema de combate de una fragata o de un sistema de mando y control en tierra – para el tratamiento y su distribución de la enorme cantidad de datos digitales, para la asignación de armas a blancos, para la gestión del lanzamiento y en el control de las armas guiadas en su trayectoria al blanco. Ya estamos operando sistemas con ese nivel de automatización –como por ejemplo el sistema de combate de las fragatas clase Álvaro de Bazán– que le permite operar en modo totalmente automático, detectar un blanco, clasificarlo, identificarlo como amigo o enemigo, decidir atacarlo si cumple las condiciones previamente cargadas en la doctrina del sistema, elegir el misil más conveniente, prepararlo para el lanzamiento y supervisar su vuelo hasta la interceptación.
- El segundo, es en el control de las plataformas. Estos sistemas son, hoy en día, extremadamente complejos por el número de parámetros que tienen que controlar, por la variedad de funciones automáticas que tienen que realizar y por el nivel de fiabilidad que se requiere de ellas. Piénsese por ejemplo que todos los aviones de combate actuales son

aerodinámicamente inestables y no podrían volar si no estuviesen dotados de sistemas automáticos de control; o que la gestión de la navegación en inmersión y la de su nuevo sistema de propulsión anaeróbico, de la energía eléctrica de nuestro submarino S-80 estará gestionado por sistemas federados de control automáticos.

- El tercero es el de los robots, es decir el de la automatización asociada a plataformas no tripuladas tanto en lo referente al tratamiento de la información como en el de control de la plataforma (aquí creo necesario aclarar que la acepción de robot no es la que se emplea en el mundo industrial).

Si se me permite hacer un paralelismo entre los dos primeros aspectos y la funcionalidad del cerebro de un ser vivo (no demasiado complejo), el primer aspecto estaría relacionado con la función de cazar o supervivencia, mientras que el segundo estaría relacionado con la actividades automáticas de un organismo para mantenerse vivo. Parece por eso evidente que la tendencia debería de ser a fundir las dos funcionalidades en una misma arquitectura de *hardware* y *software*.

### *La robotización del espacio de batalla digital*

El campo de batalla ya ha comenzado a robotizarse. Uno no tiene más que prestar atención a las noticias diarias en los periódicos y en la televisión, en las que aparecen frecuentemente referencias directas e imágenes de fondo de vehículos aéreos no tripulados actuando en distintos conflictos. Nuestras fuerzas operan ya varias clases de vehículos de este tipo y las fuerzas de seguridad llevan años utilizando robots para desactivación de explosivos.

La tendencia claramente apunta en la dirección de un creciente papel de los robots en el campo de batalla digital. Durante los próximos decenios, asistiremos a la aparición de nuevos tipos y de nuevas generaciones de los ya existentes, que convivirán y operarán conjuntamente con las plataformas tripuladas. Esta va a ser un área de enorme desarrollo durante este siglo.

El principio básico de la robotización militar, es sacar al operador de la plataforma y pasarlo a controlarla desde una estación en tierra o desde otra plataforma tripulada. Hoy tenemos tecnología para implementar este

concepto sin ninguna dificultad. Sacar al operador de la plataforma complica el lazo de control, pero a su vez presenta claras ventajas: el tamaño del vehículo se reduce considerablemente y en consecuencia todos sus parámetros de diseño como la potencia de propulsión, los servicios vitales del operador, su sistema de protección, etc. Si se trata de plataformas aéreas, además desaparecen las limitaciones de maniobras por encima de determinadas “g”, y la duración de las misiones, que impone la fisiología del piloto. En el caso de robots submarinos también resulta bastante intuitiva la ventaja de sacar al operador del vehículo. Los robots permitirán reducir considerablemente el riesgo físico y el número de bajas de nuestros combatientes. Si un robot resulta dañado en combate se envía al escalón de mantenimiento, además no se fatigan, no comen, no sufren estrés...

A medida que aumente el número de robots en un escenario, crecerá la complejidad de su control y coordinación, por lo que resultará cada vez más difícil y menos práctico mantener operadores individuales dedicados en cada uno de los lazos de control.

Por eso, con toda seguridad la tendencia del diseño de las siguientes generaciones de robots será hacia vehículos totalmente autónomos que puedan, pero que no requieran estar supervisados por un operador. Y según esta línea evolutiva en algún momento surgirán *robots armados que pueden operar completamente autónomos*.

Este salto evolutivo, con independencia de las dificultades técnicas que pueda plantear, que no creo ni mucho menos que sean irresolubles, nos presenta aspectos filosóficos, éticos, morales y legales totalmente nuevos. ¿Bajo qué circunstancias vamos a ceder a una máquina autónoma la decisión sobre la utilización de sus armas? ¿Debe programarse un robot para que su comportamiento esté de acuerdo con el cuerpo legal vigente? ¿Quién será legalmente responsable del incumplimiento, el mando orgánico, el diseñador, o la industria fabricante?

### *Cerebros analógicos en un mundo digital*

El desarrollo y la generalización de la utilización de robots militares va a estar condicionada a los avances que se logren en inteligencia artificial y

hasta el momento, esta, es de las pocas áreas de las tecnologías de la información, que su desarrollo aparentemente no sigue una clara pauta exponencial.

Hay que considerar, que no todos los robots en el campo de batalla requerirán el mismo índice de inteligencia, por ejemplo uno logístico para auxiliar al combatiente en el transporte de carga –una mula mecánica– sólo necesita un bajo índice. Pero si lo que queremos es un robot armado autónomo para combate urbano de baja intensidad, en el que los enemigos se mezclan con no combatientes, el problema técnico es completamente diferente y bastante más difícil; aquí lo que se necesitan son habilidades más próximas a las propias de la mente humana como, percepción visual, que permita toma de decisiones en décimas de segundo.

Previsiblemente, durante este siglo, la evolución de la capacidad “cerebral” de los robots va a seguir una pauta similar a la que siguió la naturaleza. Pero quiero aclarar que en todas mis consideraciones parto del marco conceptual de que *la mejor estrategia para conseguir inteligencia sintética es conseguir que procesos digitales sean funcionalmente equivalentes a funciones analógicas de un cerebro natural.*

Hoy los robots militares son máquinas manejadas por control remoto, pero existe tecnología para poder fabricarlos con la inteligencia instintiva equivalente a un reptil como por ejemplo un cocodrilo (sin menosprecio alguno hacia una especie que ha demostrado ser capaz de sobrevivir durante millones de años); es decir capaz de, mediante integración de sus sensores, construir una imagen del universo circundante, descubrir la amenaza y actuar consecuentemente, pero todo dentro de un marco muy rígido de comportamiento.

El siguiente paso evolutivo será disponer de un cerebro capaz de superponer a la inteligencia instintiva cierta capacidad de aprendizaje, estamos hablando del cerebro más simple de un mamífero.

El tercer paso podría darse cuando se disponga de suficiente potencia de cálculo como para que el cerebro realice simulaciones en tiempo real de una situación, la compare con anteriores situaciones vividas y almacenadas en su memoria y realce predicciones que le permitan actuar.

Y ya por fin el gran mito de la humanidad, crear un cerebro inorgánico capaz de emular al nuestro propio. Diferentes estimaciones confluyen a que una capacidad de  $10^8$  MIPS debería ser suficiente para con una máquina digital emular la fabulosa "máquina" analógica de nuestro cerebro compuesta por 100.000 millones de neuronas más sus correspondientes sinapsis; y todo esto con solo un consumo de 20 vatios.

Suponiendo que se sigue cumpliendo la ley de Moore y que se resuelve el problema del consumo de energía, esta potencia de cálculo podría estar disponible para la década del 2030 o 2040, en cualquier caso antes de la segunda mitad del siglo. Pero el problema de emular un cerebro humano con tecnología digital no es un problema básicamente de capacidad de cálculo o de memoria es un problema de programación, y aquí deberíamos ser mucho más precavidos.

En cualquier caso los enormes esfuerzos financieros, científicos y técnicos que se están dedicando al estudio del cerebro humano junto con el desarrollo de nuevas herramientas para su observación, nos irán aproximando asintóticamente a su conocimiento de tal manera que podríamos disponer de prototipos antes de que finalice la primera mitad del siglo. Bien a mi pesar creo que no debería extenderme más sobre este apasionante tema.

### *De autómatas jugadores de ajedrez y de androides*

Hasta ahora, cuando me he referido a robots, implícitamente he considerado que se trataba de máquinas sin ningún signo antropomórfico, exceptuando la inteligencia, más bien vehículos remotos o autónomos no tripulados. Pero llegado a este punto, creo que contando de antemano con la benevolencia de la Academia, sin dedicarle excesivo tiempo pero tampoco ignorándolo, debo hacer una incursión en un territorio escabroso y tratar el tema de los robots antropomórficos, los androides que habitan esa frontera difusa con la ciencia ficción.

Como ya comenté, los avances en el conocimiento del cerebro humano y los posteriores desarrollos para emularlo mediante técnicas digitales, permitirán disponer de una "máquina pensante" capaz de pasar la prueba

de Turing –suponiendo que exista consenso de que ésta sea una manera aceptable de medir en qué grado una máquina puede sustituir al cerebro humano, yo tengo mis reservas al respecto– antes de que finalice la primera mitad de este siglo. Pero de aquí, pasar a desarrollar un androide capaz de emular toda la funcionalidad de nuestros sentidos, de mostrar la complejidad de la expresión corporal humana, sus movimientos y todo perfectamente integrado con la “máquina pensante”, hay un largo trecho.

Los logros de los centros de investigación japoneses, si bien técnicamente impresionantes, están en los balbuceos de lo que será, un largo y costoso esfuerzo de desarrollo y de ingeniería. En el desarrollo de los actuales robots andantes (ASIMO, por ejemplo) se han resuelto muchos de los problemas técnicos de emular el bipedismo humano, aunque el resultado es bastante tosco. Los androides estáticos desarrollados hasta la fecha no pasan de ser la versión moderna de una atracción de feria de mis años de niñez, que incluía a un autómatas vestido de oriental, que creo recordar, jugaba al ajedrez con los asombrados paisanos.

Sin embargo, si existiese financiación suficiente y masa crítica de ingenieros dedicados al proyecto, es muy posible que para la segunda mitad de este siglo fuese viable el desarrollar un androide andante.

Pero, suponiendo que se lograra el desarrollo, la pregunta es cuál sería la demanda de un producto caro de producir y complicado de mantener. Ni siquiera a largo plazo, yo personalmente veo su utilidad en el campo de la defensa, y si en algún sitio podría tenerla, sería en viajes espaciales de larga duración, por las evidentes ventajas de no consumir recursos alimenticios, ni aire, ni generar desperdicios, de ser inmune a la radiación cósmica y a los efectos de una tormenta solar, y al mismo tiempo poder relacionarse de manera social con una tripulación humana. En cualquier caso estamos en un terreno de pura especulación.

### *Energía para el combatiente digital*

El tema de la energía será vital para mantener la operatividad de nuestras fuerzas a lo largo de este siglo, pero soy consciente que este no es un problema que afecte exclusivamente al mundo de la defensa; es un tema que

afecta a los fundamentos mismos de nuestra civilización. La sociedad del siglo XXI será una gran consumidora de bits pero también de kilowatios.

El funcionamiento de nuestra civilización está fundado sobre la falacia de que dispondremos de un suministro ininterrumpido de combustibles fósiles a un precio compatible con nuestra estructura económica. Sin entrar en el eterno debate de cuánto durará el petróleo, dado que es un bien no renovable en algún momento la curva de la demanda empezará a aproximarse o incluso sobrepasará a la de la oferta. Antes de que eso ocurra, habrá que afrontar el problema y disponer con tiempo suficiente de alternativas viables.

Volviendo a nuestro tema, el combatiente digital va a ser un gran consumidor de energía; energía para alimentar a sus plataformas de combate (vehículos, aviones, buques, submarinos, vehículos remotos), a los centros de mando y control, y a los centros logísticos incluidos hospitales. Para ponerlo en términos coloquiales, *“el problema de la gasolineras”*.

Como combatiente individual todos su equipamiento consume energía: visores de casco con cámaras y presentación virtual, prismáticos de visión nocturna, intensificadores de imagen, equipo de comunicaciones, ordenador personal de combate, telémetros y designadores láser, GPS, robots de apoyo, uniformes con reguladores térmicos, etc. El reto será como dotarlo de una fuente de energía individual duradera y portátil: *“el problema de las pilas”*.

Además tenemos que tener presente que hoy en día, los conflictos surgen, en cualquier parte del planeta. Hace tan solo una década hubiera sido impensable predecir que nuestras fuerzas estuviesen en Afganistán y nuestra Armada suprimiendo la piratería en el Océano Índico. En este mundo imprevisible en el que tendremos que operar, tenemos que estar preparados para desplegar globalmente, en este contexto el tema de la energía será aun más crítico, porque cuando hay un despliegue hay que suponer que debemos autoabastecernos en la zona y transportar combustible, sistemas de generación y de almacenamiento de energía. De aquí surge una tendencia tecnológica significativa: *el combatiente digital requerirá sistemas de energía con generación distribuida y modular*. ¿No seguirá la sociedad también esta tendencia?

Napoleón decía que los ejércitos se mueven sobre su estómago, los ejércitos actuales se mueven consumiendo enormes cantidades de combustible fósil. El consumo de combustible en los recientes conflictos de Irak y Afganistán ha rebasado cualquier previsión realizada en base a la anterior experiencia. Estamos ante la encrucijada de que durante este siglo nuestros ejércitos consumirán cada vez más energía, pero al mismo tiempo el más elemental principio estratégico aconseja que la seguridad nacional no pueda quedar sujeta a los avatares del cada vez más impredecible suministro de petróleo. ¿Qué hacemos para propulsar nuestras plataformas?

Cada ejército presenta una problemática energética diferente. Por ejemplo, en este siglo la Armada va a poner en servicio entre dos o tres nuevas generaciones de buques de superficie, no puedo imaginarme a la hipotética fragata “Jorge Juan” que se entregue en el 2060 propulsada por fuel. En las plataformas navales la tendencia creo que será en la dirección de la generación y propulsión eléctrica integrada, con motores y generadores basados en tecnología de superconductores. En cuanto al tema del combustible primario, descartando la solución de la energía nuclear, la única alternativa sea probablemente apostar por la tecnología del hidrógeno. En parte ya hemos iniciado este camino con el desarrollo de la planta de propulsión del submarino S-80, basada en pilas de combustible alimentadas con hidrógeno producido a bordo partiendo de bioetanol. Lógicamente, las soluciones para las plataformas aéreas y terrestres vendrán de las que adopte la industria civil.

La tecnología para sistemas portátiles de energía va a seguir dos caminos de evolución diferentes, por una parte la tecnología de las baterías y por otra la de las pilas de combustible.

Como resumen creo que en el ámbito de la defensa, la gran apuesta debería ser: la aplicación de la superconductividad al desarrollo de nuevos motores y generadores eléctricos, *las tecnologías del hidrógeno, de las pilas de combustible* y de las baterías de nueva generación. ¡No descarto que la fragata “Jorge Juan” esté propulsada por hidrógeno! Es muy posible que paralelamente a la revolución digital veamos en este siglo *la revolución del hidrógeno*.

*Algunas consideraciones sobre ingeniería de sostenimiento en la era de la información*

Estas reflexiones se quedarían incompletas si no considerase los aspectos menos abstractos y más mundanos que nos va a suponer diseñar y sostener los sistemas de armas en la era de la información.

El primer aspecto que quiero considerar, es la influencia práctica que las leyes de Moore y Nathan (Myhrvold) suponen en los ciclos de vida de los sistemas de armas. Creo que ya, en algún momento de mi discurso, he manifestado que la tecnología básica de nuestros sistemas, los ladrillos con los que los diseñamos y construimos, son los mismos microprocesadores que se emplean en el mundo comercial; la tendencia es a utilizar en los sistemas de armas –en la medida de lo posible– electrónica comercial, lo que llamamos en el mundo militar COTS (commercial off the shelf). Y lo mismo ocurre con el *software*, desde luego los lenguajes de programación son ya siempre comerciales, y también lo son los sistemas operativos e incluso algunas aplicaciones.

Los años de los ordenadores militares, que no cambiaban durante toda la vida de las plataformas, programados en lenguaje militar han pasado a la historia. Ni siquiera los EEUU pueden permitirse mantener líneas especiales de producción de procesadores para uso militar.

Para enmarcar el problema, pongamos por ejemplo, que la vida de diseño de un buque puede ser de unos treinta años. ¿Cómo compaginar el ciclo de renovación de las plataformas con los ciclos de renovación tecnológica de los sistemas? ¡En treinta años se producirán quince generaciones de microprocesadores! El problema se complica aún más si se tiene en cuenta que, por ejemplo, el diseño de una fragata empieza diez años antes de su entrega y que si la fase de producción de una clase es cinco años, inevitablemente o entregamos buques obsoletos o vamos a tener que convivir con sistemas con configuraciones diferentes desde el principio.

Por otra parte, existe el problema de la ingeniería de sostenimiento de los propios sistemas durante su ciclo de vida. El sistema de combate de una fragata F-100, está constituido por una veintena de subsistemas complejos comunicándose en tiempo real, cada uno de ellos diseñado con fa-

milias de procesadores diferentes y a veces programados en lenguajes distintos. Compaginar las substituciones parciales de componentes para evitar la obsolescencia y al mismo tiempo mantener la *integridad funcional del sistema* requiere un continuo esfuerzo de ingeniería.

Aprender a vivir en un mundo en que los ciclos de renovación tecnológica, se miden en meses, es un problema de pura ingeniería; sin entrar en detalles, la única respuesta a este laberinto es establecer desde el primer día de diseño, un proceso estricto de *ingeniería de sistemas* –un campo al que, mi compañero de armas e ilustre Académico, general Torrón ha dedicado un enorme esfuerzo profesional a su divulgación e implantación– que se siga empleando durante el ciclo de vida de la plataforma. Tenemos que concienciarnos que el diseño de los sistemas de la era de la información no termina con la entrega. El diseño se prolongara durante toda la vida del sistema.

Otro aspecto que requiere alguna consideración y que ya traté inicialmente en la introducción, es el relacionado con el futuro de nuestro tejido tecnológico e industrial. Si realmente estamos convencidos de que la tecnología tiene que ser la ventaja competitiva de nuestros combatientes en este siglo, tenemos que admitir que no se pueden mantener operativos unos ejércitos equipados con los mejores sistemas de armas que no estén sustentados por una sólida base tecnológica industrial. En la base deberían articularse todos nuestros recursos: universidades, centros de investigación públicos y privados, y la industria.

Partiendo de la base de que ninguna industria media en España puede considerar que su viabilidad pasa por depender exclusivamente del presupuesto de defensa, el futuro de las industrias “de la era de la información” dependerá de su capacidad para diversificarse y exportar.

Las industrias “de la era de la revolución industrial” son un caso diferente, que requiere especial atención, porque su solución es más difícil. Pero sin entrar en propuestas que se salen completamente de lo que debería de ser mi discurso, sí existe una receta universal ¡apostar por la tecnología! Una industria pesada puede y debe ser una industria de la era de la información.

## Nuevas tecnologías, nuevas amenazas

### *El Pearl Harbor digital*

Las recientes publicaciones profesionales están llenas de referencias a lo que hoy se denomina “guerra asimétrica”, un término genérico que engloba una serie de nuevas amenazas relacionada sobretodo con acciones terroristas, que como las tristemente celebres bombas de cuneta, buscan anular la ventaja técnica de nuestras fuerzas utilizando baja tecnología. El ataque suicida sufrido por el destructor de la US NAVY Cole, en el que un sencillo bote cargado de explosivos, consiguió infringirle importantes daños y cuantiosas bajas, se ha convertido en un desgraciado ejemplo de esta modalidad de guerra.

Sin embargo, la asimetría ha existido siempre en la guerra; como dice Toynbee, el drama de David y Goliat lo encontramos representado una y otra vez en una serie continua de pugna entre nuevas y viejas técnicas y tecnologías militares. El hoplita Goliat estaba tan seguro con su propia tecnología que no podía concebir ninguna otra clase de amenaza asimétrica, y menos, la honda de un pastor: un fatal error.

Si bien los ataques asimétricos tácticos, son importantes porque causan un número importante de bajas e inciden negativamente en la moral del personal, lo que nos debe realmente preocupar es la asimetría estratégica.

Nosotros somos el gran Goliat digital, y en algún lugar hay un David blandiendo la honda. También nuestros potenciales enemigos están cambiando átomos por bits, y estaríamos repitiendo el error de Goliat si ignorásemos que es cuestión de tiempo para que nuestros oponentes, dispongan de la misma gama de tecnologías que hoy tenemos nosotros. En el futuro estarán en condiciones de atacar nuestro interés, evitando al mismo tiempo una confrontación armada.

En este sentido, el peor escenario que podemos considerar —un “Pearl Harbor digital”—, un ataque informático masivo y coordinado para alterar nuestros sistemas de control vitales, sistema sanitario, transportes, generación y distribución de energía, hacienda, banca y todos los servicios y negocios basados en la Web, será técnicamente viable en los próximos

años. Ataques más limitados y puntuales como el de piratas informáticos intentando penetrar sistemas oficiales o privados ya se producen a diario por todo el mundo.

Nuestra sociedad digital se ha vuelto en este sentido muy vulnerable. Durante al menos en dos recientes conflictos, hemos asistido a episodios de ataques informáticos planificados, que aunque aparentemente no demasiado elaborados, causaron importantes efectos en las dos naciones atacadas. Hechos de esta naturaleza nos deberían hacer reflexionar que estamos ante una posibilidad real de ataque estratégico, que puede afectar seriamente a nuestra seguridad nacional.

Esto es un ejemplo de cómo cambios tecnológicos como los que viviremos este siglo, pueden exigir que tengamos incluso que revisar en el futuro aspectos de la defensa nacional. ¿Quién debe asumir la defensa en la guerra informática? ¿Tenemos la tecnología necesaria para primero defendernos y después contraatacar? ¿Tenemos doctrina para conducir un ataque? ¿Debe repercutirse el coste de la defensa informática en las compañías?

Como ya indiqué previamente, el nuevo concepto de combate se fundamenta en la *conectividad*, y no es posible proporcionar conectividad global inalámbrica sin disponer de una constelación de satélites civiles y militares que aseguren la operatividad de la fuerza digital. Este es nuestro talón de Aquiles, en un futuro conflicto de alta intensidad un ataque a la red de satélites podría tener consecuencias catastróficas. Ahora bien un ataque de esta envergadura requeriría una tecnología únicamente disponible a un número muy reducido de naciones.

Con estos ejemplos no he querido más que ilustrar cómo las nuevas tecnologías, nos ofrecerán un horizonte de prometedoras oportunidades y al mismo tiempo abre el abanico para futuras amenazas.

### **Consideraciones éticas, legales y sociales**

La creciente interacción e integración entre hombre y máquina empieza a plantear cuestiones éticas y morales, que trascienden el puro ámbito de la defensa y terminarán afectando a toda la sociedad.

*Del cambio de neuronas por bits*

Como ya comenté cuando hablé de la robotización del campo de batalla, en un futuro próximo serán técnicamente viables, vehículos autónomos armados, capaces de actuar sin el control de un operador. El más elemental sentido común aconseja que un robot armado estuviese siempre bajo el control humano, pero una vez que existe la tecnología, me temo, que será imposible evitar el empleo autónomo de los robots. Ante esta eventualidad, deberíamos empezar a plantearnos, bajo qué condiciones sería moralmente aceptable darle la capacidad al robot de decidir sobre la utilización de sus armas.

Desde luego hay principios generales como que el soporte lógico (*software*) de la máquina debe estar programado para cumplir escrupulosamente el cuerpo legal en vigor. Aun suponiendo que esto sea técnicamente factible, no es suficiente, cuando un combatiente de una sociedad civilizada está en el teatro de operaciones se rige por unos preceptos éticos universales, como aceptar la rendición, uso proporcional de la fuerza, evitar sufrimientos innecesarios, respeto a la población civil, a organizaciones internacionales como la Cruz Roja. Además, hoy en día, el combatiente está sujeto por lo que llamamos las ROE (*rules of engagement*) que le definen en qué términos puede utilizar la fuerza. La implementación de todos estos aspectos va a ser tremendamente compleja desde el punto de vista técnico legal, pero a la postre no deja de ser un tema de control de calidad de desarrollo del *software*.

*De la integración de bits y neuronas*

Un tema que periódicamente se suscita en algunos círculos extranjeros, es el referente a la conveniencia o no de implantar a los combatientes simples elementos de memoria de datos, que facilitasen la rápida identificación en caso de herida o baja. Si se me permite la burda comparación, mi perro Mougá, tiene ya un implante de este tipo. Pero el tema tiene mucho más calado del que aparenta a simple vista porque, áun suponiendo que se aceptase la práctica, sería discutible en muchos países, la legalidad de su obligatoriedad y se estaría dando vía libre a la posibilidad a otro tipo de implantes.

De manera similar a un implante con la identificación, parece evidente, que un elemento de memoria implantado en el combatiente con todo su historial médico podría contribuir a salvar vidas en los primeros escalones médicos de campaña. El tema es dónde está la frontera ética, porque el siguiente paso podría ser la inserción de “implantes activos”, microprocesadores –no como elementos para sustituir capacidades perdidas por defectos genéticos o causados por traumatismos– sino como potenciadores de las capacidades naturales del individuo e incluso a largo plazo abrir una posibilidad aún mucho más inquietante de introducir implantes biológicos en una máquina. Aunque estas posibilidades todavía resultan remotas, ya se han realizado implantes experimentales con fines médicos y una prestigiosa institución europea mantiene una línea de investigación sobre interfaces de neuronas con chips.

Desde luego este no es el momento de ni siquiera sugerir soluciones a estos temas de tal complejidad técnica y filosófica, que como dije trascienden al mundo de la defensa; Una solución pragmática podría ser la que adoptó el “Human Genome Project” de hacer, caso por caso, un análisis de las implicaciones éticas legales y sociales del mismo.

## **Reflexiones finales**

### *De la guerra*

A lo largo de mi discurso he intentado transmitir la idea de que el combatiente del siglo XXI va a combatir con bits, pero estaría dando un mensaje equívoco, si alguien se queda con la impresión de que la guerra futura será un “video juego” incruento o un combate entre robots.

Por muy avanzada que sea la tecnología en el campo de batalla, existen principios inherentes a la condición humana que desgraciadamente permanecerán inmutables.

Primero: las causas de los conflictos armados en el futuro seguirán siendo las mismas que en el pasado. Los líderes de naciones constituidas o de otros grupos u organizaciones étnicas, religiosas, sociales o terroristas, seguirán promoviendo conflictos fundamentados en una

mezcla de sentimientos tan antiguos como la propia humanidad: miedo, odio, ambición, venganza... y en la lógica de su escala de valores que les lleva a la conclusión de que la lucha es la mejor manera para lograr sus objetivos.

Segundo: la naturaleza de los conflictos no va a cambiar en su esencia. Seguirán siendo, como siempre ha sido, un enfrentamiento de voluntades llevado hasta sus últimas consecuencias.

Incluso en el espacio de la batalla digital, para alguien en alguna parte, el combate será confusión, miedo, ansiedad e incertidumbre. Por encima de los bits serán el coraje, la lealtad, la disciplina, el compañerismo, el sentido del honor, del deber; los que marcarán en algún momento la diferencia entre la victoria o la derrota.

Como resumen de estas reflexiones, no me queda más que reafirmarme en que nuestra Defensa, la defensa de nuestros intereses, de nuestros valores, del ordenamiento que nos hemos dado, y en fin, de nuestra libertad, dependerán de cómo sepamos, conjuntamente con nuestros aliados, afrontar y asimilar los enormes cambios científicos y tecnológicos que se atisban en el horizonte.

### *En el ámbito general*

Si queremos conservar nuestro lugar en el mundo como nación, no tengo la menor duda que tenemos que apostar, con todas las consecuencias, por estar en el frente de la ola del cambio que estamos viviendo y apostar sin reservas por la ciencia, la tecnología y la ingeniería, ya que en definitiva, son los ingenieros los que materializan el mundo en el que vivimos.

Pero al mismo tiempo que declaro mi fe, entusiasmo y compromiso sin reservas con el progreso técnico —¡una apuesta desde el optimismo filosófico!—, soy consciente, que existen signos amenazantes de una incipiente, pero creciente, corriente de pensamiento —y no precisamente en sectores marginales de la sociedad— que considera que nuestras capacidades como “*Homo sapiens*”, no estarán a la altura que requerirá la evolución tecnológica.

La tentación puede ser desplazar al hombre de muchos procesos a medida que las máquinas puedan sustituir la funcionalidad de nuestro cerebro, relegando a los humanos al papel de supervisores o meros espectadores. O lo que es mucho más alarmante e inquietante, la tentación de que juguemos a ser Dios, y tratemos de “mejorarnos o rediseñarnos” mediante la ingeniería.

No se está hablando de una etapa posterior de nuestra evolución como Hombres, —del utópico Punto Omega que preconizaba Teilhard de Chardin— se está hablando de un futuro basado en integrar cuerpo humano, cerebro y máquinas. ¿Debe ser esta la dirección a la que apunte nuestra evolución?

No es este el momento, ni yo tengo la pretensión de dogmatizar sobre un tema de semejante complejidad, pero el envite del futuro es demasiado serio como para permanecer pasivos. Debemos defender con claridad y sin ninguna ambigüedad que el Hombre debe ser el centro y el canon de todas nuestras creaciones. La razón humana debe ser la que conduzca la marcha imparable e irreversible del progreso técnico.

Por eso, hoy es más necesario que nunca, estimular un amplio y continuo debate en la sociedad sobre las enormes implicaciones éticas que nos plantearán los avances científicos y tecnológicos este siglo. ¿Cómo establecer la línea roja que como humanos nunca deberíamos atravesar?

Estoy convencido de que la Academia que hoy me hace el gran honor de admitirme entre sus académicos, puede contribuir, lógicamente en los aspectos que le competen, a ese debate, y que su autorizada voz puede ser un referente para la sociedad y para las instituciones que tengan la responsabilidad de legislar sobre estos temas tan vitales.

A la luz de estas últimas reflexiones, de las que se desprende una apuesta por mantener al Hombre en el centro, en un ambiente cuyas resultantes son en la dirección totalmente opuesta de deshumanizar al individuo, cabría preguntarse si lo que necesitamos no es una *neoilustración*, capaz de armonizar progreso técnico y humanismo.

Muchas gracias por su amable paciencia y por su atención.

CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. RICARDO TORRÓN DURÁN

Excelentísimo Sr. Presidente.  
Excelentísimos Sres. Académicos.  
Señoras y Señores.

Permítanme, en primer lugar, expresar mi satisfacción por el honor de haber sido designado para contestar a José Manuel Sanjurjo Jul, Doctor Ingeniero de Armas Navales, tras su brillante y relevante discurso de ingreso en esta Real Academia de Ingeniería.

Gracias pues, respetado Presidente y queridos compañeros, ya que soy hoy la voz de la Academia para dar la bienvenida, apadrinando en cierto sentido su entrada, al Vicealmirante del Cuerpo de Ingenieros de la Armada Sanjurjo Jul, a la vez que respondo a su discurso de ingreso en esta prestigiosa Corporación.

Un acto de recepción es siempre un día grande para la Academia, pero hoy lo es de una manera señalada, pues se incorpora a ella un representante de un Cuerpo cuya antigüedad data de principios del Siglo XVIII, de cuando no había más ingeniería oficial que la militar.

El Cuerpo de Ingenieros de Armas Navales es la réplica naval del de Artillería del Ejército de Tierra. Se crea en 1717, cuando reinaba en España Felipe V, en cumplimiento de las conocidas como Ordenanzas del Secretario de Marina Patiño y cuando sus componentes eran a la vez, al igual que en su homólogo de Tierra, artilleros combatientes e ingenieros artilleros.

Ese Cuerpo sufre multitud de vicisitudes a lo largo de su historia, con un total de 14 reformas y cambiando, en cada una de ellas, su denominación. Sirvan como ejemplo los nombres que ha tenido a lo largo del siglo XX: Artillería de la Armada, Ingenieros de Artillería Naval, Servicios Téc-

nico-Industriales de Artillería, Cuerpo Facultativo de Armas Navales e Ingenieros de Armas Navales

En todo este tejer y destejer siempre resurgía el Real Cuerpo de Artillería de la Marina inicial, poniendo de manifiesto que vitalidad tan acusada no puede ser consecuencia más que de su necesidad y utilidad. Es esto muestra permanente de la noble aspiración de nuestra Armada de poseer siempre el nivel técnico que exige su eficacia.

Quizás sea aquí oportuno recordar al fecundo y prestigioso marino de la Ilustración Jorge Juan, en su obstinada búsqueda de que España poseyera lo que él definía como una "Marina de Sabios". Puedo adelantar que la Real Academia de Ingeniería rendirá el próximo año merecido homenaje a tan sobresaliente científico, trasladándose para ello a Cádiz y San Fernando.

Pues bien, nuestro nuevo académico, pertenece a ese grupo selecto de marinos e ingenieros y encabeza en este momento, con el empleo de Vicealmirante, el Cuerpo de Ingenieros de la Marina que, creado por la ley 61/1967, engloba los Cuerpos de Ingenieros Navales, de Electricidad y Electrónica y de Armas Navales, ejerciendo el papel que antaño asumían los Inspectores Técnicos.

Su destino actual es el de Director de Construcciones Navales de la Armada y, por tanto, responsable de tres procesos fundamentales en la dotación, empleo y sostenimiento del complejo material de una Marina de Guerra. Procesos que resumimos así:

- El diseño, construcción y pruebas de las nuevas unidades, entre las que destaco, por su aportación ingenieril, los submarinos de la clase S-80, con su revolucionario sistema de propulsión anaerobia, al que ha hecho referencia en su discurso el nuevo académico; y las fragatas de la clase Álvaro de Bazán, las espectaculares F-100, también citadas en el discurso, y consideradas únicas en su género pues integran el complejo sistema de combate AEGIS en una plataforma de tamaño reducido y que han sido adquiridas ya por varias Marinas extranjeras. Otra unidad de gran interés, es el nuevo buque de proyección estratégica, a la vez portaaviones, anfibio y de apoyo, también adoptado por otras Marinas extranjeras.

- El segundo proceso, del que es responsable el Director de Construcciones Navales, es la gestión de los diversos Programas de adquisición de los Sistemas de Armas que utiliza la Armada, como los vehículos de combate de Infantería de Marina, los helicópteros, los aviones, los misiles, los sistemas de mando y control y un largo etc.

-Y, por último, la gestión de los Programas de I+D+i de la Armada, algunos de los cuales han sido ya expuestos aquí. En esta actividad, que abarca estar atento a lo que está por venir, reflexionar y explorar los escenarios futuros posibles, detectar los sucesos portadores de futuro y localizar los actores de esos posibles escenarios, es donde se enmarca el discurso que acabamos de escuchar.

Repasemos ahora el currículum del ingeniero responsable de estos procesos.

José Manuel Sanjurjo nació en Lugo en el año 1945, y atraído por su vocación de marino de guerra ingresa en la Escuela Naval de Marín, recibiendo su despacho de Teniente de Navío en 1970.

Después de diversos destinos en la Flota y de haber realizado estudios de perfeccionamiento en la Escuela de Transmisiones y Electricidad de la Armada, es seleccionado para ingresar en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Armas Navales, donde obtiene el título de Ingeniero de Armas Navales con la Especialidad de Misiles. Posteriormente obtendría el doctorado, versando su tesis doctoral sobre aspectos matemáticos de la defensa contra misiles.

Su formación académica y profesional se completa con numerosos cursos, realizados tanto en España como en el extranjero, sobre gestión de programas, sistemas de armas, sistemas de misiles, acústica submarina, integración de sistemas, etc., etc. El detalle y contenido de los mismos obra en los archivos de la Academia, pero yo destacaría el realizado en el Centro Superior de Estudios de la Defensa Nacional (CESEDEN) sobre la Alta Gestión Logística y el realizado en el Defense System Management College de Virginia, donde obtiene el título de "Internacional Program Manager". Ambos se refieren a la gestión de programas de sistemas de armas, cuya base es la Ingeniería de Sistemas y donde aparece el análisis

del ciclo de vida como característica específica del enfoque sistémico que exige esta rama de la Ingeniería.

Esta compleja y extensa formación permitió al ingeniero de Armas Navales Sanjurjo ocupar importantes destinos y ejercer grandes responsabilidades a lo largo de su carrera profesional. Destaco los siguientes:

- Inspector en el Astillero de Ferrol durante las fases de diseño, fabricación e integración de las fragatas clase Santa María.

- Dirigir en Washington, durante tres años, un Grupo de Trabajo internacional de ingenieros encargado del desarrollo de un nuevo misil antiaéreo.

- Asimismo dirigir el programa multinacional FAMS (Familia de Misiles Antiaéreos), en el que participan España, Italia, Francia y el Reino Unido, desde su Oficina Internacional de París

- Y haber sido el Jefe de Programa de la ya citada Fragata F-100. Quiero aquí recordar que nuestra Real Academia concedió a la Empresa Nacional Navantia, entonces denominada Izar y antes Bazán, el Premio "Academiae Dilecta" principalmente por la fabricación, entre otros destacados productos, de este buque, considerado como inigualable en su categoría.

Todas estas actividades no han impedido al nuevo académico dedicarse a una importante labor docente, en la misma Escuela de Ingenieros de Armas Navales donde completó su formación de ingeniero. De modo que durante años ha sido profesor de número en los Cursos de Doctorado y responsable de la asignatura "Dirección de Proyectos de Ingeniería de Sistemas". Actualmente es el Presidente de todos los Tribunales de Tesis Doctorales de dicha Escuela.

No quiero acabar esta rápida visión de la vida del Almirante Ingeniero sin mencionar otras actividades extra profesionales que completan el perfil de un magnífico ingeniero, como la investigación y difusión de la historia de las tecnologías relacionadas con la construcción naval y con la fabricación de la artillería, así como el estudio de la relación de los programas navales con el tejido industrial nacional y, en particular, sus efectos, desde la revolución industrial, sobre la industria naval. Su inquietud

intelectual abarca el impacto de la revolución de la información sobre los sistemas de armas actuales, siendo su brillante discurso un claro ejemplo de ello. Numerosos artículos, ponencias, conferencias y organización de jornadas avalan la preocupación del nuevo académico por la vinculación existente, y me permito agregar: hoy más que nunca, entre la Política de Defensa y la Política de la Industria de Defensa. Esta necesaria relación es defendida por ACID, la Asociación Civil de Ingenieros de la Defensa, de la cual es Vicepresidente.

Y como broche de su currículum debemos mencionar que ha sido galardonado, a lo largo de su carrera, con numerosas condecoraciones, entre ellas las Grandes Cruces Naval y de San Hermenegildo, así como con la "Navy Commendation Medal" de la Marina de los EE. UU.

Pasemos ahora a comentar sus palabras que he encontrado, desde el primer momento, enormemente sugestivas y sugerentes y, aunque elude expresamente algunos temas y evita el léxico puramente técnico en aras de una retórica más comunicativa, resulta muy cargado conceptualmente para una contestación que necesariamente no debe ser extensa. Me limitaré a algunas breves reflexiones de carácter general y a la rápida exposición de un programa de I+D de Defensa relacionado directamente con el tema de su exposición.

Su discurso se desarrolla plenamente en la llamada Era de la Información, y nos introduce en el uso de las nuevas tecnologías de la información/comunicación que la acompañan, destacando su aspecto revolucionario, que el autor recoge en la expresión "revolución digital", y cuyos efectos cambiantes de todo orden expone en la primera parte de su comunicación.

Sin embargo, ya desde su inicio, nos describe que este cambio no es homogéneo y esa falta de homogeneidad tiene, bajo el punto de vista industrial, interesantes aspectos que afectan al equipamiento y, sobre todo, a la logística de los ejércitos modernos, donde el mantenimiento y sostenimiento del armamento es vital. Considero muy acertado traer aquí esta característica presente en la vinculación, ya mencionada, que debe existir entre la Política de Defensa y la Política Industrial de Defensa. Como nos

dice el Almirante Sanjurjo: la industria de plataformas sigue básicamente en la era industrial con una tendencia centrífuga hacia países de salarios bajos, mientras la industria de sistemas de armas ha entrado claramente en la era de la información.

Si se nos permite una manifestación de tipo poético y usando el símil de Alvin Toffler de las tres olas (la Era Agrícola, la Era Industrial, y la Era de la Información) podemos decir que el fenómeno descrito por el nuevo académico lo vemos representado en la naturaleza por el entrechocar de una ola en retirada, pero aun activa, (la segunda) contra la pujante irrupción de la tercera, creciente por momentos.

Este fenómeno no afecta solamente a la Industria de Armamento, sino que influye en todo el sector industrial. Pero hay un principio que debe estar presente para evitar su aspecto traumático y que el autor del discurso apunta para solucionar la problemática general que aporta la implantación de las nuevas tecnologías de la información/comunicación: La solución estará siempre apoyada en la adecuada utilización reiterada de estas nuevas tecnologías, teniendo presente la visión global o sistémica que con ellas se consigue.

Más adelante se analiza el impacto de la revolución digital en el mundo de la Defensa y se centra nuestra atención en el combatiente digital, considerado como un sistema de sistemas, inmerso en el espacio de combate integrado virtual del Teatro de Operaciones.

El concepto de sistema y lo que aporta el enfoque sistémico están presentes con carácter dominante en esta parte de la exposición.

Tiene que ser así, pues si tomamos como definición de sistema la aportada por el fundador de la Teoría General de Sistemas von Bertalanffy, que, a pesar de su sencillez, es siempre válida: "conjunto dinámico de elementos y de relaciones entre estos elementos", podemos decir que las nuevas tecnologías de la información/comunicación han establecido, reforzado o afinado las relaciones entre los elementos de los más diversos sistemas creados por el hombre, sean físicos o abstractos. Ello explica, de una manera sencilla, que hablar de información y de sus tecnologías es lo mismo que hablar de sistemas; e incluso hay autores, como el profesor Benjamín

Blanchard del Instituto Politécnico de la Universidad de Virginia, referencia obligada en el ámbito de la Ingeniería de Sistemas, que prefieren llamar a la época actual Era de los Sistemas.

Considerar el combatiente individual como un sistema es naturalmente algo novedoso, pero ya existe en España, igual que en otras naciones de nuestro entorno, un programa de I+D que así lo considera: el programa COMFUT, acrónimo del Combatiente del Futuro. Este programa constituye actualmente uno de los programas estrella de I+D del Ministerio de Defensa, y prueba, junto con otros programas citados en el discurso, que algunos de los conceptos e ideas expuestos en el mismo están ya recogidos en proyectos de futuro inmediato.

El objetivo del programa es el conseguir un combatiente individual, que, integrado dentro de un equipo o pelotón, sea capaz de combatir en el campo de batalla digitalizado, no solo como plataforma de armas, sino también como sensor de inteligencia y órgano de adquisición de objetivos.

El COMFUT 1ª generación, iniciado en el 2006, se encuentra en la fase de diseño y desarrollo y está prevista su finalización para el 2010 con la entrega de 30 prototipos que pasarán a una fase de evaluación. La 2ª generación del programa está prevista para el 2015 y una 3ª par el 2030.

El COMFUT pretende integrar en el Sistema Combatiente una serie de subsistemas (recuérdese que se trata de un sistema de sistemas) que lo dotan de las funcionalidades requeridas para que pueda cumplir su misión. Estos subsistemas son los siguientes:

- Subsistema Armamento y Munición.
- Subsistema Fuente de Alimentación.
- Subsistema Eficacia de Fuego.
- Subsistema Información y Comunicación.
- Subsistema Supervivencia.
- Subsistema Sostenimiento.
- Subsistema Preparación para el Combate.

Como ejemplo de la complejidad de este Programa, citaremos esquemáticamente las capacidades que el Subsistema Información y Comuni-

cación, vital para la integración de los demás, debe suministrar al Sistema Combatiente. Estas capacidades son:

- Comunicación de voz y datos con el resto de los miembros del pelotón o equipo.
- Navegación integrada con un Sistema de Información Geográfica.
- Conciencia Situacional.
- Información del campo de batalla integrada con el Sistema de Información Geográfica.
- Gestión de informes, peticiones, órdenes y alertas.
- Información del estado del sistema.
- Registro de datos de la misión.

Añadiré solamente que se ha conseguido que el combatiente lleve consigo un solo ordenador empotrado, de reducidas dimensiones, y que la visualización de todas las capacidades citadas se haga sobre el casco de combate o sobre una PDA, convenientemente colocada en un antebrazo, buscando el conjunto optimizado del individuo con todo aquello que utiliza, transporta y consume durante su actuación en ambiente táctico.

La empresa responsable del diseño y desarrollo de este Subsistema es GMV, creada, como un *spin off* de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de la Politécnica de Madrid, por el catedrático y académico de número de nuestra Real Academia Juan José Martínez García, tristemente fallecido. GMV fue galardonada por nuestra corporación con el Premio "Academiae Dilecta" en el año 2004.

Creo que es interesante recordar que el hecho de realizar investigación y desarrollo militar desde el ámbito de lo civil surgió al iniciarse la 1ª Guerra Mundial, por iniciativa del colectivo investigador civil de Francia e Inglaterra, quien, consciente de que la potencia alemana no solo era económica sino también científico-universitaria, ofreció a sus respectivos gobiernos su total colaboración. Es decir, durante la que se llamó Gran Guerra, no solo cambió el mundo de la guerra, sino que también lo hizo el de la ciencia.

Como consecuencia de ello se crearon, en 1915, la "Direction des Inventions" en Francia, a propuesta de la Academie des Sciences de Paris y, en

Inglaterra, la "Board of Inventions and Research" a propuesta de la prestigiosa Royal Society of London., que acometen la solución científico-técnica de los problemas planteados a lo largo de la guerra.

Esta colaboración se manifestó, como de todos es sabido, con toda plenitud en la 2ª Guerra Mundial y posterior Guerra Fría, en todos los campos tecnológicos, pero muy espectacularmente en el campo nuclear; en el de las comunicaciones y la electrónica y en el de nuevos materiales.

En la actualidad se observa una interesante y fructífera convergencia entre las tecnologías emergentes citadas en el discurso, es decir, entre las nano, info, cogno y biotecnologías, que ha sido estudiada y analizada por la Academia de Ciencias de Estados Unidos en su informe, de junio de 2002, "Converging Technologies for Improving Human Performance". Pues bien, quiero resaltar que en él se dice expresamente que la convergencia citada trata de aumentar la capacidad de actuación humana, en especial en el ámbito de la Defensa militar.

Vemos pues que la solución a la compleja problemática del mundo de la Seguridad y Defensa sigue en la actualidad exigiendo, y lo exigirá más en el futuro, la colaboración entre el mundo civil y el militar; como magistralmente nos ha expuesto el nuevo académico. En el nivel industrial la falta de esta fuerte relación a lo largo del ciclo de vida de los sistemas de armas, es decir para el mantenimiento, sostenimiento e innovación de los mismos, convertiría en inútiles las inversiones realizadas en su diseño y desarrollo.

No quiero finalizar mis breves palabras sin destacar la actitud mental adoptada por el Doctor Ingeniero Sanjurjo para realizar las sugerentes reflexiones sobre la tecnología y la defensa en este siglo XXI, objeto de su brillante discurso.

En primer lugar explora y reflexiona, no predice. Tiene en cuenta, por otra parte, que todo está relacionado y que es necesario explorar el futuro con amplitud, de una manera global, teniendo en cuenta los más diversos aspectos, como los políticos, económicos, sociales, éticos, legales, etc. Y, además, lo hace con el empleo fructífero de la imaginación. Adopta pues el autor lo que Gaston Berger definiría como actitud prospectiva.

Para la Prospectiva el futuro no es desconocido o ignorado, sino que es plural e incierto. No podemos, por lo tanto, predecirlo, porque no está predeterminado. Lo que podemos hacer básicamente es explorarlo, puesto que es plural y luego tratar de configurarlo. Es decir, tomar ahora, con una actitud activa y creativa, las decisiones que nos conduzcan al futuro deseado o, al menos, al preferido entre los analizados

Esta actitud exige ser consciente de que el hombre es, en buena medida, protagonista de su futuro; lo que, unido a las motivadoras e interesantes reflexiones expuestas por el nuevo académico, hacen del discurso una fuente extensa de ideas que proponen líneas de investigación, estudio y acción, siempre con la noble aspiración de que sigamos ocupando, en el campo de la Defensa, el papel internacional que histórica, económica y políticamente nos corresponde.

Finalizo. No me queda más que felicitar al nuevo académico por su relevante discurso a la vez que congratularme por su incorporación a la Real Academia de Ingeniería, reforzando en la misma la presencia de la Ingeniería de Defensa.

La Real Academia de Ingeniería, espera de ti, Almirante, que tu experiencia como ingeniero y tus conocimientos e inquietudes contribuyan a la consecución de sus fines y le ayuden, como tú nos has recordado, a jugar el importante papel social que como corporación le corresponde.

En nombre de la Real Academia de Ingeniería, y en el mío propio, te doy la bienvenida a su seno.

Señoras, señores, muchas gracias por su atención.