

La frontera que separa la investigación y desarrollo de los sistemas de armas avanzadas, AWS, de lo que tradicionalmente se ha considerado como desarrollo de carácter civil es una frontera difusa, en la que los términos clásicos de militar y civil quedan imprecisos. La tecnología de las AWS es una tecnología de arrastre a otras tecnologías, por lo que los elevados costes de investigación y desarrollo de las AWS se han visto compensados, en parte, o totalmente, con la fabricación de los productos de alta tecnología introducidos en el mercado civil.

La electrónica, la aeronáutica, la astronáutica, la energía nuclear, los láseres y los haces de partículas constituyen un claro ejemplo de estas tecnologías de doble uso: civil y militar, con la salvedad de la imprecisión que estos términos conllevan. Los tres primeros ejemplos han sido analizados ampliamente en diferentes números de esta revista, por lo que sólo se considerarán la energía nuclear y los láseres y haces de partículas, que constituyen, por un lado, los sistemas de armas más avanzadas contra aeronaves, misiles y satélites; y por otro lado, como sistemas para producir la fusión nuclear, que será la energía masiva del futuro, sustituyendo a la energía producida en las actuales centrales de carbón y de uranio productoras de energía eléctrica.

EL DESCUBRIMIENTO DE LA FISION NUCLEAR Y EL DESARROLLO DEL PRIMER REACTOR NUCLEAR

Cuando el 22 de diciembre de 1938 Otto Hahn (futuro premio Nobel) y su ayudante Friz Strassmann con la colaboración previa de Lise Meitner (exiliada en Suecia por su ascendencia judía) publicaron el descubrimiento de que al bombardear con neutrones el uranio, éste se excindía, es decir, se fisionaba en dos fragmentos con el desprendimiento de una enorme cantidad de energía, se iniciaba una nueva era en los sistemas de armas y en la producción de energía para fines industriales, y en particular, para la producción de energía eléctrica. Sin embargo, se desconocía entonces si estas aplicaciones serían científicamente factibles, y más aún si serían económicamente

Los sistemas de armas avanzadas y el impulso tecnológico que conllevan

GUILLERMO VELARDE PINACHO,
*General de Brigada de Aviación,
Catedrático de Física Nuclear*

GUILLERMO VELARDE PINACHO



Situación actual

General de Brigada I.A (desde 1987), agregado al EMAD, Catedrático de Física Nuclear (desde 1973) de la UPM, Director del Instituto de fusión Nuclear (desde 1981), Presidente del Seminario de la Energía y

Recursos Naturales del IEAA, CESEDEN (desde 1978), Diplomado en Energía Nuclear por la Universidad de Pennsylvania y por el Laboratorio Nacional de Argonne (1957).

Situaciones pasadas

Ingeniero de Atomics International, California (1958-1963), Investigador de la Junta de Energía Nuclear (1956-1981), Mando de la Defensa Aérea

Actividades científicas

Ha dado conferencias sobre fusión nuclear en diversos centros de los EE.UU., URSS, India, Alemania, China y Francia. Ha publicado 83 trabajos de investigación en revistas y publicaciones del extranjero. Ha publicado 73 trabajos de investigación en revistas nacionales. Ha publicado libros sobre mecánica cuántica, sobre física nuclear y sobre sistemas nucleares emergentes. Ha presidido diversas sesiones en conferencias internacionales. Ha presidido y dirigido 2 conferencias internacionales. Presidente (de 1988 a 1992) de la International Society for Inertial Fusion Energy.

viables, y qué procedimientos se deberían emplear.

El segundo paso fue dado por Otto Frisch y su tía Lise Meitner cuando el 16 de enero de 1939, publicaron los cálculos de la energía producida en la fisión del uranio, unas veinte millones de veces la energía obtenida en la combustión de una masa igual de gasolina.

El tercer paso lo dieron Frederic Joliot e Irene Curie (futuros premios Nobel) cuando en marzo de 1939 publicaron que en la fisión del uranio se producía, no sólo energía, sino nuevos neutrones. De este modo, un neutrón puede fisiónar un núcleo de uranio, dando lugar a energía y a varios neutrones. A su vez, estos neutrones pueden producir fisiones en otros núcleos de uranio, desprendiéndose energía y varios nuevos neutrones, y así sucesivamente, estableciéndose lo que se llama fisiones en cadena autosostenidas. Es decir, en condiciones especiales, partiendo con un solo neutrón se puede fisiónar una gran masa de uranio.

El cuarto, y definitivo paso en el campo de la fisión nuclear, lo dio el exiliado e inquieto físico húngaro Leo Szilard, cuando pocas semanas después evaluó que según la configuración y los componentes de la masa de uranio, ésta podría fisiónarse en unas pocas millonésimas de segundo, o en varios meses.

De este modo, podría fabricarse un potente explosivo nuclear, al disponer de una energía veinte millones de veces la de un explosivo químico de igual masa, pero además, esta energía podría liberarse en un tiempo mil veces inferior al empleado en la explosión de un explosivo químico. Esto daba lugar a un explosivo nuclear unas veinte mil millones de veces más potente que uno químico de igual masa. Por otro lado, en condiciones especiales, esta enorme cantidad de energía se podría liberar en meses o en años, en vez de en millonésimas de segundo, con lo que sería aprovechable industrialmente, por ejemplo, en la producción de energía eléctrica.

Para demostrar la factibilidad científica de las fisiones en cadena autosostenidas del uranio, habría que construir un reactor nuclear de potencia despreciable, que confirmase de una vez los resultados obtenidos en los experimentos del laboratorio, y en los cálculos teóricos

realizados hasta entonces. A ello se dedicaron el recién galardonado con premio Nobel, el italiano Enrico Fermi, y el húngaro Leo Szilard. El 2 de diciembre de 1942, en uno de los sótanos de la Universidad de Chicago alcanzó la criticidad el primer reactor nuclear fabricado por el hombre.

A partir de entonces, se inició el desarrollo de las dos principales aplicaciones de la fisión nuclear: los explosivos nucleares y los reactores nucleares productores de energía eléctrica.

Todo lo que sucedió después es ya historia, la cual ha sido ampliamente analizada en el artículo *Laboratorio de Los Alamos: Aspectos humanos en torno al proyecto de la primera bomba atómica*, publicado en esta revista el último mes de septiembre. El incansable y tenaz Leo Szilard convenció primero al futuro premio Nobel Eugene Wigner para que le acompañase en su coche a visitar a Albert Einstein en su casa de verano de Old Grove en Long Island, y después a Edward Teller, impulsor de la futura bomba de hidrógeno, a que fuese con él de nuevo a ver a Einstein para que les firmase la famosa carta en la que proponía al presidente Roosevelt acelerar los experimentos sobre fisión nuclear, al saber que en la Alemania de Hitler los estaban realizando. Luego vino el azaroso comienzo del proyecto Manhattan, el nombramiento del Coronel, luego General, Leslie Groves como director de este proyecto, la selección del físico nuclear Robert Oppenheimer como director científico, la concentración masiva de premios Nobel unos ya nominados y otros que lo alcanzarían en un futuro, las rivalidades entre ellos, y al final el éxito de las explosiones nucleares de Alamogordo (16, julio, 1945), Hiroshima (6, agosto, 1945) y Nagasaki (9, agosto, 1945).

De todo esto se obtiene un claro ejemplo de cómo los descubrimientos científicos se hacen generalmente buscando la explicación de los fenómenos del mundo físico en que estamos inmersos, sin mirar sus futuras aplicaciones civiles o militares. Se hacen por el afán de buscar la verdad, o lo que entonces se cree que es la verdad. Es después, durante su desarrollo, cuando aparecen las aplicaciones civiles o militares, generalmente mezcladas entre sí.

EL DESARROLLO DE LAS BOMBAS DE FUSION NUCLEAR (de hidrógeno o termonucleares) Y LA COMERCIALIZACION DE LOS COMPUTADORES (ordenadores)

Durante el desarrollo del proyecto Manhattan, cuyo objetivo era la fabricación de bombas de fisión nuclear, llamadas popularmente de modo incorrecto bombas atómicas, se calculó que en la explosión de estas bombas se obtendrían temperaturas del orden de los cien millones de grados. Por otro lado, unos cálculos simplificados dieron como resultado que los elementos ligeros como el hidrógeno, litio, boro, etc. a temperaturas de centenares de millones de grados se unían entre sí, es decir se fusionaban, produciendo una energía igual o superior a la obtenida en la fisión del uranio. Teniendo en cuenta ambos resultados, se podría obtener una superbomba. Bastaba en principio con emplear una bomba de fisión nuclear (atómica) con una determinada cantidad de hidrógeno (en realidad, sus isótopos deuterio y tritio). Al explosionar la bomba de fisión nuclear se produce energía, calentándose el hidrógeno a unos cien millones de grados, fusionándose, y produciendo más energía. Por este motivo se la llamó popularmente bomba SUPER, que después se conocería como la bomba de fusión nuclear, de hidrógeno (por el tipo de explosivo nuclear empleado), o termonuclear (por producirse la fusión nuclear a elevadas temperaturas).

Con la explosión de la primera bomba de fisión nuclear en Alamogordo, el 16 de julio de 1945, se demostró la viabilidad del proyecto Manhattan, por lo que era lógico pensar en el desarrollo de la SUPER, añadiendo a una bomba de fisión nuclear del tipo de Alamogordo cantidades variables de isótopos de hidrógeno, con ello se esperaba pasar de los kilómetros a los megatonnes.

Pero entonces aparecieron dos problemas, uno científico y otro ético. Este último produjo una de las épocas más turbulentas de la historia de la ciencia contemporánea. El primer problema se debió a que los resultados teóricos indicaban que la SUPER así constituida no podía funcionar; se conseguía

aumentar algo el número de los kilotonnes producidos, pero no se alcanzaban los megatonnes deseados. La onda de choque producida en la explosión de la bomba de fisión que servía de cebo, destruía el sistema antes de que el hidrógeno se calentase a unos cien millones de grados y se fusionase. Se vio entonces que el problema teórico era inabordable con los medios de cálculo de que se disponía entonces.

El segundo problema que se produjo en el desarrollo de la SUPER era un problema de conciencia que afectó a numerosos científicos del proyecto Manhattan. Gran número de ellos eran científicos europeos exiliados por su ascendencia judía, que colaboraron en el desarrollo de la bomba de fisión nuclear, con objeto de que fueran arrojadas sobre la Alemania de Hitler, pero cuando ésta se rindió en mayo de 1945, consideraron que no se debía continuar con su desarrollo. Sin embargo, como ya se encontraba en sus últimas fases de fabricación, no pudieron impedir que el gobierno americano decidiese su utilización sobre el Japón. Esto creó entre algunos científicos del proyecto Manhattan una situación de malestar y desconfianza hacia los políticos, que llevó a enfrentamientos y situaciones desagradables. Fue entonces cuando se crearon dos grupos, uno encabezado por Robert Oppenheimer, jefe científico del proyecto Manhattan, que se oponía al desarrollo de la SUPER, alegando que las bombas de fisión nuclear eran ya lo suficientemente letales como para fabricar otras miles de veces más potentes. El otro grupo, dirigido por Edward Teller, que también participó en el proyecto Manhattan, consideraba que los rusos dispondrían de la bomba de fisión nuclear en poco tiempo, como de hecho ocurrió al cabo de cuatro años, y que la supremacía de los EUA sólo podría alcanzarse, desarrollando la SUPER.

El resultado de este enfrentamiento fue la dimisión de Oppenheimer, su proceso, y su confinamiento como director del Centro de Estudios Avanzados de Princeton. Durante el proceso, se le acusó de ser un espía soviético y un traidor; esto sucedió a un hombre que había hecho en favor de la victoria de los EUA más que toda la sarta de políticos que dudaron de su lealtad.

La historia ha dejado impresa en las actas del Congreso americano toda la bajeza de algunos de sus colaboradores que le acusaron, y en donde la envidia a este hombre genial alcanzó niveles hispánicos. Angustiado por los efectos de su obra, se equivocó al estimar la capacidad del armamento nuclear soviético, pero su lealtad a los EUA era incuestionable, como posteriormente quedó bien probado.

Con el ejemplo de lo que le sucedió a Oppenheimer, su grupo de opositores a la SUPER se dispersó, acallándose sus protestas.

Edward Teller, con el apoyo del gobierno americano, y sin oposición organizada, dedicó todo su esfuerzo en solucionar el primer problema que hacía inviable el funcionamiento de la SUPER. Con la colaboración de Ulam, desarrolló un método, conocido por el de Ulam-Teller, que consistía en desacoplar la onda de choque de los rayos X producidos en la explosión de la bomba de fisión nuclear que servía de cebo a la SUPER. Antes de que llegase la onda de choque y destruyese el sistema, los rayos X eran absorbidos en la masa de hidrógeno calentándose a unos cien millones de grados y produciéndose la fusión.

Con el método de Ulam-Teller la SUPER era físicamente viable, pero con los medios de cálculo de que se disponía entonces era imposible resolver los complejos problemas físico-matemáticos que planteaba este método. La dificultad era tal que las máquinas mecánicas de cálculo, que tanto éxito tuvieron en el desarrollo de la bomba de fisión nuclear eran inservibles en la SUPER. Los esfuerzos se dirigieron en dos direcciones. Por un lado, en plantear las ecuaciones de la SUPER, y por otro, en desarrollar lo que después se llamarían los computadores, que algunos se empeñan en designarlos con el galicismo de ordenadores.

De este modo, se inició la época de los computadores que ha producido a los EUA grandes beneficios. Se estima que por cada dólar actualizado gastado en la investigación y desarrollo de la SUPER, se han obtenido unos 17 dólares de beneficio.

Todo lo anterior es un ejemplo de cómo el desarrollo de un arma tan letal como la bomba de fusión nuclear, ha servido para desarrollar un producto de tan amplia acepta-

ción civil y militar, como son los computadores, los cuales se han hecho imprescindibles en campos tan dispares como la investigación científica, la producción industrial y la gestión administrativa. Es lógico pensar que si no se hubiese continuado con el proyecto de la SUPER, los computadores se habrían desarrollado igualmente, aunque quizás con años o lustros de retraso.

EL DESARROLLO DE LOS SUBMARINOS NUCLEARES Y LA COMERCIALIZACION DE LOS REACTORES NUCLEARES DE AGUA LIGERA

Después del éxito del primer reactor nuclear de Fermi y Szilard en 1942, y de los diversos reactores productores de plutonio militar construidos en Hanford durante el proyecto Manhattan, se pensó en desarrollar reactores productores de energía eléctrica, base de las actuales centrales nucleares.

Pronto se obtuvo que los reactores nucleares que tenían una buena economía de neutrones, como los moderados por grafito y refrigerados por gas y los de agua pesada, eran excesivamente pesados y voluminosos para que pudiesen emplearse en la propulsión de los submarinos. Por el contrario, los reactores más compactos, como los moderados y refrigerados por agua ligera (agua común desionizada), tenían una mala economía de neutrones, pero eran idóneos para los submarinos.

Los EUA y la URSS, haciendo uso de un gran sentido común, iniciaron el desarrollo de este tipo de reactor nuclear de agua ligera, apto para los submarinos, y que con importantes modificaciones se emplearía para la producción de energía eléctrica, en las centrales nucleares. De este modo, los enormes gastos de investigación y desarrollo empleados en los reactores nucleares para los submarinos serían compensados con los beneficios obtenidos en los reactores nucleares de energía eléctrica.

El Reino Unido y Francia prefirieron comercializar los reactores de grafito y gas, que previamente habían desarrollado para producir plutonio militar. Suecia desarrolló

los de agua pesada de óptima economía neutrónica. Otros países de Europa se empeñaron en desarrollar un tipo de reactor que teóricamente era el mejor: moderado por agua pesada y refrigerado por líquido orgánico, pero que por los efectos de la elevada temperatura y por la acción de la radiación se descomponía, obturando los conductos de refrigeración.

Al final sucedió lo que era de esperar. Aunque los proyectos europeos eran teóricamente óptimos, los gastos de investigación y desarrollo eran prohibitivos para las naciones europeas incapaces de ponerse de acuerdo en un proyecto común. El Reino Unido y Francia abandonaron sus reactores de grafito-gas, y el resto de Europa los suyos. Cada nación por separado tuvo que comprar a los EUA sus reactores de agua ligera, adquiriendo total o parcialmente sus componentes, con el consabido beneficio para los EUA. Se dice que Europa financió, en parte, la investigación y desarrollo de los reactores nucleares de los submarinos norteamericanos.

LOS LASERES Y HACES DE PARTICULAS COMO SISTEMAS DE ARMAS CONTRA AERONAVES, MISILES Y SATELITES Y EL DESARROLLO DE LA ENERGIA DE FUSION NUCLEAR COMO ENERGIA MASIVA DEL FUTURO

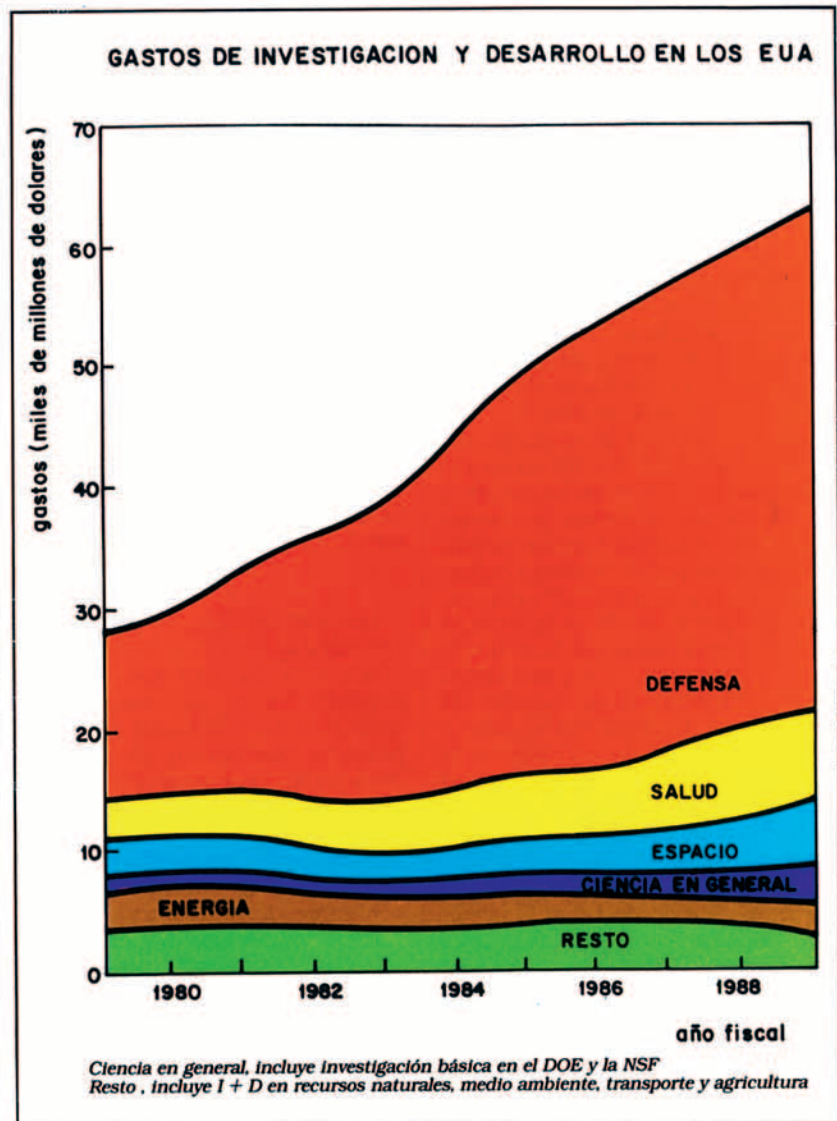
Hacia mediados de la década de los años sesenta, el premio Nobel N.G. Basov, actual director del Instituto Lebedev de la URSS y John Nuckolls, actual director del Laboratorio Nacional de Lawrence en Livermore de los EUA, propusieron el empleo de láseres de muy alta potencia para producir la fusión nuclear de los isótopos de hidrógeno, es decir, la base de lo que podrían ser las futuras centrales de fusión nuclear productoras de energía eléctrica. Pero por aquella época se encontraban en pleno desarrollo las centrales de fisión nuclear y el aprovechamiento exhaustivo de los combustibles fósiles: carbón y petróleo, por lo que estas propuestas sólo tuvieron interés en el mundo científico, sin trascender a las empresas eléctricas. Cuando en

1973 se inició la crisis del petróleo, volvieron a considerarse las propuestas de Basov y Nuckolls. La fusión de los isótopos del hidrógeno, y de otros elementos ligeros como el litio, boro, etc. tienen un inmenso atractivo por las grandes ventajas que conllevan: es una energía prácticamente limpia, y en su segunda generación lo será completamente, sin producir contaminación ambiental; el combustible empleado es tan abundante que podrá abastecer energéticamente a toda la humanidad durante miles de millones de años, hasta que la vida sobre la Tierra desaparezca; y además, como el combustible se encuentra repartido muy uniformemente en la Tierra y en el agua, es asequible a todas las naciones, evitando así el monopolio actual del carbón o del petróleo.

Sin embargo, todas estas ventajas se encuentran atenuadas por las enormes dificultades científicas y técnicas que hay que resolver para conseguir la fusión nuclear a escala industrial. Hay que calentar el combustible a unos cien millones de grados, y mantenerle confinado durante un cierto tiempo. Actualmente, se han conseguido estas temperaturas, pero durante intervalos de tiempos inferiores al necesario.

Uno de los caminos más prometedores es el propuesto por Basov y Nuckolls, es decir el de la fusión nuclear por confinamiento inercial que consiste en lo siguiente: Cuando un láser de muy alta potencia ilumina una microbola (del tamaño de una cabeza de alfiler) compuesta por los isótopos del hidrógeno, se produce la ablación de su superficie, generándose una onda de choque de miles de millones de atmósferas que comprime la microbola, calentándola finalmente a centenares de millones de grados y produciéndose la fusión de los isótopos del hidrógeno. Los productos de fusión salen a gran energía chocando contra una pared previamente refrigerada. El refrigerante a elevada temperatura, va directa o indirectamente a una turbina de vapor que a su vez mueve un alternador de energía eléctrica. Unas veinte microexplosiones por segundo darían lugar a una central eléctrica de 1000 megawatts.

Era lógico pensar que si un láser de muy alta potencia podía producir en una microbola de hidrógeno



una onda de choque de miles de millones de atmósferas, éste mismo láser, con las modificaciones adecuadas, podría dirigirse contra una aeronave, misil o satélite, con lo que la onda de choque producida destruiría el blanco. Además, el pulso de luz producida por el láser puede durar menos de una millonésima de segundo, y como durante este tiempo un misil actual sólo recorre unos 3 milímetros, el láser no tendría que seguir la trayectoria del misil.

Antes del 23 de marzo de 1983, tanto los EUA como la URSS habían desarrollado diversos láseres de alta potencia para sus experimentos de fusión nuclear, y como sistemas de armas contra aeronaves, misiles y satélites. Por eso, cuando en esta fecha el presidente Reagan propuso

al pueblo americano un sistema de defensa estratégica, SDI, basado en los láseres y haces de partículas, no estaba dando un salto en el vacío al proponer unos sistemas de armas desconocidos, sino que se basaba en una década de investigaciones y experimentos con estos láseres y haces de partículas de muy elevada potencia.

A partir de entonces, la investigación y desarrollo en el campo de estos sistemas de armas y en el de la fusión nuclear para la producción de energía eléctrica han seguido caminos, no sólo paralelos, sino entremezclados, siendo difícil discernir si se sigue el camino de estas armas o el de la producción de energía.

Este es un claro ejemplo de una investigación y desarrollo que nació

con el fin de solucionar el problema energético del futuro, y que antes de conseguirlo desvió su atención hacia el desarrollo de sistemas de armas avanzadas. Un desarrollo conlleva al otro.

A pesar de la oposición soviética al despliegue de la SDI, están instalando en Troisk un centro para el desarrollo de láseres y haces de partículas de doble uso: el energético y el de los sistemas de armas. La oposición de Gorbachov se basa en que el despliegue de una SDI eficaz costaría cerca del billón de dólares, necesarios para elevar el nivel de vida del ciudadano soviético al del europeo occidental.

Si todo continúa como se espera, el futuro puede presentarse como sigue. Aunque las reservas de carbón y de uranio pueden abastecer a la humanidad durante unos siglos, debido a la contaminación ambiental producida por la lluvia ácida y al efecto invernadero producido por el anhídrido carbónico emitido en las centrales térmicas de carbón, y al problema de los residuos radiactivos de las centrales de fisión

nuclear, este tipo de centrales dejarán de instalarse antes de que se agoten las reservas de carbón y de uranio.

Durante el próximo siglo se irán sustituyendo paulatinamente este tipo de centrales energéticas por las de fusión nuclear, probablemente empleando láseres o haces de partículas, de manera que a finales del próximo siglo puede preverse que un 80% de la energía eléctrica producida se deberá a la fusión nuclear, un 10% a la energía solar y otras energías renovables, y el resto, al remanente de las actuales fuentes de energía.

Por otro lado, durante el próximo siglo se habrán desarrollado los nuevos sistemas de armas avanzadas, basados en los láseres y haces de partículas que se emplearán, por un lado, como la futura artillería antiaérea, y por otro para impedir que la mayoría de los misiles enemigos alcancen sus objetivos, bien destruyéndolos directamente, o inutilizando la red de satélites del C.I. En el caso incierto de que se inicie el tercer milenio sin armas nuclea-

res, de acuerdo con la propuesta de Gorbachov, estos sistemas de armas perderían parte de su interés.

En la figura adjunta, se representan los gastos anuales de investigación y desarrollo en los EUA, observándose que para el año 1990 los correspondientes a defensa son unas tres veces los empleados en todas las restantes áreas (salud, espacio, ciencia, energía, medio ambiente, transportes, agricultura, etc.). Se prevé que gran parte de estos gastos de defensa serán compensados por los beneficios producidos por los productos de alta tecnología que aparezcan en el mercado civil, obtenidos como producto de las investigaciones y desarrollo de los sistemas de armas de defensa. ■

BIBLIOGRAFIA

- Laboratorio de Los Alamos: Aspectos humanos en torno al proyecto de la primera bomba atómica. Natividad Carpintero Santamaría. Rev. Aero y Astro. n.º 573, sep. 1988.
- SDI: Resumen y descripción general. Guillermo Velarde Pinacho. Rev. Aero y Astro. n.º 543, marzo 1986.



PILOT'S

SUMINISTROS AERONAUTICOS, S. A.

**CENTRO DE ESTUDIOS
AERONAUTICOS
"ALEJANDRO ROSARIO"**

INSTRUCCION DE VUELO INSTRUMENTAL EN SIMULADORES

Curso de vuelo básico en SIMULADOR MONOMOTOR (VOR, RMI / ADF, etc) • Curso de vuelo avanzado en SIMULADOR BIMOTOR (HSI, VOR, RMI / ADF, TRANS, etc) • Curso de navegación aérea básica • Curso de navegación aérea avanzada • Preparación para I.F.R. • Entrenamiento en vuelos I.F.R. a la demanda.

CURSOS PARA PILOTOS

Curso integrado para pilotos comerciales (O.A.C.I. 236) según el propuesto por la Organización Internacional de Aviación Civil, (adaptado a los programas E.N.A.) • Curso para la obtención del "Piloto Privado"

INFORMACION EN: SUMINISTROS AERONAUTICOS PILOT'S, S.A.

C/. Ulises, 5 - 28043-MADRID - Tels.: 200 98 13-200 99 37

Horario:
9,00-14,00
16,00-20,00