



GUILLERMO VELARDE Y EL INSTITUTO DE FUSIÓN NUCLEAR

El día 14 de enero de 2018 falleció el profesor y general del Ejército de Aire Guillermo Velarde. Entre las diversas facetas de su larga y fructífera vida está la de ser el fundador de una institución única, y más en los tiempos en que se fundó, su querido niño: su Instituto de Fusión Nuclear.

Sirva esta pequeña reseña para rendir homenaje a su persona y destacar el papel que en este país él y su instituto (que ahora ya lleva su nombre) ha jugado y juega aún como elemento conductor nacional e internacional de la investigación en la fusión nuclear por confinamiento inercial, mediante láser, iones o rayos X como fuente de energía.

INTRODUCCIÓN

Guillermo Velarde ha sido catedrático de Física Nuclear, general de división del Cuerpo de ingenieros aeronáuticos de las Fuerzas Aéreas, y fundador en el año 1981 del Instituto de Fusión Nuclear (IFN) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

Comenzó en 1956 en la Sección de Física Teórica de la Junta de Energía Nuclear (JEN) que le envió a los EE.UU. a estudiar física nuclear y teoría de reactores en la Pennsylvania State University y en el Argonne National Laboratory. De allí pasó a Atomic International en California para trabajar en el diseño de un reactor de agua pesada (DON) para la JEN.

A su vuelta a la JEN en el año 1963 comenzó a trabajar en el campo de la teoría de transporte, moderación y termalización de neutrones. En 1966 comienza como profesor en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) para obtener, en 1973, la cátedra de Física Nuclear en la UPM, impartiendo docencia en Mecánica Cuántica y Física Nuclear en la ETSII hasta su jubilación. En ningún otro sitio de las ingenierías españolas, incluida la propia UPM, se impartía entonces docencia de la mecánica cuántica, fundamental para tantas áreas del conocimiento.

Su actividad investigadora en la JEN continuó de manera simultánea, hasta llegar en 1974 a director de Tecnología Avanzada que incluía

electrónica, ingeniería, teoría y cálculo de reactores y fusión nuclear.

COMIENZO DE LA INVESTIGACIÓN EN FUSIÓN NUCLEAR POR CONFINAMIENTO INERCIAL (FCI) EN ESPAÑA

El profesor Velarde comenzó su investigación para conseguir la fusión nuclear mediante la compresión uniforme de la materia, hasta cientos de $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, obteniendo millones de grados hasta lograr la unión de los núcleos, allá por el año 1965 cuando el profesor Linhart del ENEA Frascati (Italia) le invita a colaborar en sus experimentos de ondas de choque que estaba realizando. Se enlaza este hecho con ser enviado por las autoridades de la JEN para analizar el accidente de Palomares (17 de enero de 1967) donde tiene ocasión de estudiar los componentes de un dispositivo termonuclear cuyo núcleo energético es la fusión nuclear y el mecanismo las ondas de choque.

En 1972 comienzan a aparecer artículos, empezando por el seminal de John Nuckolls y colaboradores (Lawrence Livermore National Laboratory [LLNL], EE.UU.), del Premio Nobel Nicolai Basov (URSS), el alto comisario del CEA, R. Dautray (Francia) y otros, que certifican la posibilidad, de obtener energía controlada mediante el método de FCI usando láseres.

En esa época el profesor Velarde comienza a montar un grupito de investigación formado con sus



JOSÉ MANUEL PERLADO

Catedrático Universidad de Física Nuclear de la Universidad Politécnica Madrid y director del Instituto Fusión Nuclear "Guillermo Velarde".

GUILLERMO VELARDE AND THE NUCLEAR FUSION INSTITUTE

January 14, 2018, the Professor and General of the Air Forces Guillermo Velarde passed away. Among the different attained goals in his long and very fruitful life, he has been the founder of and unique Spanish institution, even more at the time it was founded, that is his Instituto Fusión Nuclear de la Universidad Politécnica de Madrid (today with name).

These few notes is an emotional tribute to his person and his passionate work that played in/for this country a definitive role, with large international effects, in the research of inertial confinement fusion using lasers, ions or X-rays as a source of energy.

alumnos de la ETSII (UPM) y de la JEN que ha sido el núcleo central a lo largo de su vida: José María Aragonés, Carol Ahnert, José María Martínez-Val, Emilio Mínguez y yo mismo. El primer objetivo fue desarrollar el código Norcla que constituyó el primer modelo de simulación no clasificado acoplado, con dependencia temporal, la termodinámica en plasmas de alta densidad (Norma), con el transporte de neutrones, gammas y partículas cargadas (Clara [S_N] y Libertas [Montecarlo]), determinando simultáneamente la tasa de reacciones de fusión, y en su caso fisión, producidas durante la fase de ignición (comienzo fusión nuclear) y quemado (propagación de las reacciones) de la materia.

Después de un primer artículo (Neutronic of Laser Fission-Fusion System) en 1976 en la 19th NEA Committee on Reactor Physics celebrada en Chalk River donde se presentaban los primeros resultados, es en 1978 con ocasión de la *International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems (ICENES 78)* celebrada en Graz (Austria) cuando aparece el primer artículo *Analysis of laser-fission-fusion systems: Time-dependent coupled nuclear-thermo hydrodynamic analysis and applications* en la revista *Atomkernenergie*, Figura 1. De manera inmediata aparece en otros dos sobre el comportamiento de cápsulas compuestas por deuterio-tritio con envolturas de materiales pesados como plutonio, uranio y plomo, Figura 1. Es la primera vez en la literatura abierta que se publican resultados incorporando con dependencia temporal el transporte de partículas en la materia comprimida y la deposición local de energía en la misma.

Todo esto desencadenó la solicitud al profesor Velarde de más detalles sobre esos cálculos por parte de diversos laboratorios críticos en la FCI: Los Alamos Scientific Laboratory, Naval Research Laboratory y Lawrence Livermore National Laboratory de los EE.UU., The All Union Research Institute for Physical Technical and Radio-technical Measurement (VNIIFTRI) y el Lebedev Institute de la URSS, Institute of Laser Engineering (ILE) de Japón, el Bhabha Atomic Research Center de la India. Además se consolida una colaboración activa con el equipo que la República Federal de Alemania montaba en el Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) dirigido por el

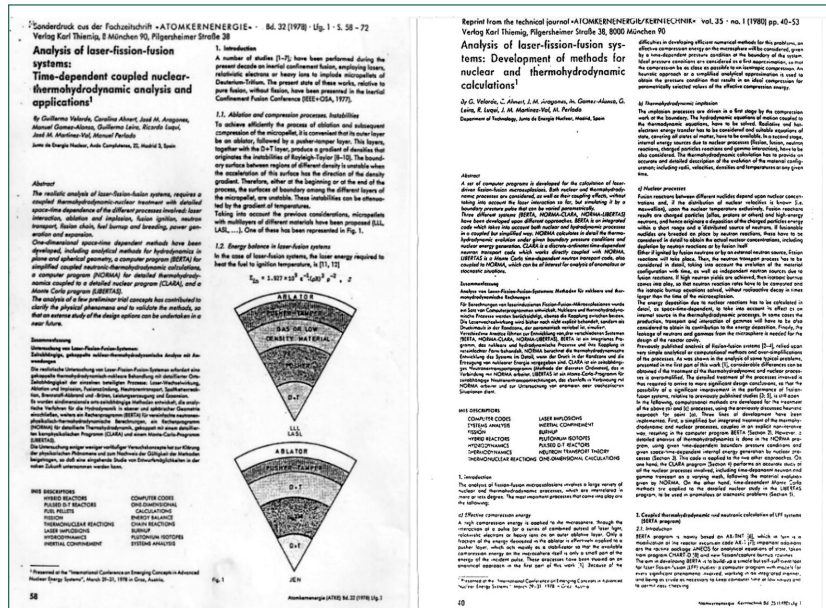


Figura 1. Artículos pioneros del código Norcla y de los sistemas de FCI fisión-fusión (1978-1980).

Profesor Gunter Kessler que duró (incrementada con el MPQ Garching y el GSI Darmstadt) hasta el final del programa de *alta densidad de energía* alemán.

EL INSTITUTO DE FUSIÓN NUCLEAR

En el año 1981, y como consecuencia de la deriva en la JEN hacia la cancelación de su programa de FCI, se constituye el Instituto de Fusión Nuclear con la ayuda imprescindible del capitán general Manuel Gutiérrez Mellado y el jefe de la junta de estado mayor de la defensa, general del aire Ignacio Alfaro. La sede se establece en la ETSII bajo acuerdo con la UPM, y finalmente se hace oficial en B.O.E. 73, de 26 de marzo de 1982, como un instituto de investigación dentro de la UPM; se unen entonces varias personas críticas en el desarrollo y mantenimiento del Instituto: los profesores Natividad Carpintero, Mireia Piera, Javier Sanz y Pedro Velarde.

Además de la investigación ya iniciada del diseño de las cápsulas de deuterio y tritio, Velarde lanza desde el comienzo, consolidando la experiencia en la JEN, el programa de física básica para el diseño de la tecnología que constituirá un reactor FCI. Se empieza el desarrollo de códigos avanzados y a realizar cálculos para cuantificar la irradiación de los materiales y sus consecuencias, junto a la capacidad de reproducción de tritio y la deposición de energía. Se consolida la colabora-

ción en el proyecto de reactor FCI HIBALL junto a KfK y a la Universidad de Wisconsin, que da lugar a una publicación pionera en la determinación integral de los mencionados parámetros en un sistema FCI en el año 1985 (*Fus. Sci. and Tech*, 8, July 1985).

Desde esos momentos el Instituto ha sido y es el actor principal en España de la investigación en la FCI desde todos sus ángulos y posee un enorme prestigio internacional lo que se refleja en su pertenencia a los comités de las conferencias del tema más importantes (*Inertial Fusion Science and Applications, IFSA; ó European Conference on Laser Interaction with Matter, ECLIM*); y ser requerido su protagonismo como promotor en Proyectos de la Unión Europea de grandes infraestructuras (ESFRI), HiPER y ELI. Durante años ha ejercido de motor de los programas de FCI en el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), y ha representado a nuestro país en los comités relacionados con la fusión inercial en la Unión Europea, siendo Velarde promotor del *IFE Consultative Committee Euratom*. Por sus despachos han pasado muchos estudiantes e investigadores que hoy ocupan posiciones permanentes en centros nacionales y extranjeros (LLNL, Los Alamos, UCLA, Stanford, CERN) así como han nutrido al mas alto nivel a la industria nuclear y a las universidades españolas.

Bajo la dirección del profesor Velarde se recibieron en el Instituto a 5



Figura 2. El equipo del Instituto de Fusión Nuclear con Edward Teller en su visita al Instituto (izda.) en 1989, y equipos del Lebedev Institute y Instituto Fusión Nuclear en Moscú en 1994 (dcha.).

premios Nobel (Rudolph Mossbauer, Leo Esaki, Nicolai Basov, Carlo Rubbia y Jack Steinberger), además del profesor Edward Teller padre del laboratorio nacional de Lawrence Livermore en EE.UU. (Figura 2) y gran pionero de la fusión por confinamiento inercial. Tres de ellos son doctores *honoris causa* por la UPM siendo apadrinados por el Profesor Velarde.

Un aspecto muy importante auspiciado por Velarde fue la organización de conferencias internacionales en Madrid que facilitaban la comunicación y conocimiento del Instituto: 4th *International Conference on Emerging Nuclear Systems (ICENES)* en 1986; 19th *ECLIM* en 1988; 24th *ECLIM* en 1996 y 29th *ECLIM* en 2006 con la participación de centenares de científicos de todo el mundo.

LA REPERCUSIÓN INTERNACIONAL Y LA DIFUSIÓN DEL CONOCIMIENTO

Guillermo Velarde tuvo muy presente la importancia que la colaboración internacional tenía en el desarrollo de la FCI, tanto desde un punto de vista meramente científico como un elemento decisivo para levantar las prevenciones existentes en los "países nucleares".

En noviembre de 1985 se celebró la cumbre de Ginebra entre los presidentes Ronald Reagan y Mikhail Gorbachev para la reducción del arsenal nuclear, donde se plasmó, además, el desarrollo cooperativo de la fusión nuclear; no sería tan sencillo para la FCI donde simplemente se abrió una esperanza de apertura para la colaboración.

En 1988 el nivel de los trabajos sobre FCI en diversos laboratorios de Europa y Japón era ya lo suficientemente alto como para que existiese un consenso, no expresado explícitamente, sobre un cambio en la política que llevaban los grandes laboratorios de EE.UU., Rusia, Francia y el Reino Unido.

En ese momento, 3-9 octubre de 1988, bajo la presidencia del profesor Velarde se organiza en Madrid la 19th *ECLIM*. Dado el ambiente y el nivel de las contribuciones que se presentaban, se lanzaron tres iniciativas: escribir una carta los participantes del *ECLIM* encabezada por los líderes de los laboratorios; fundar

la *International Society for Inertial Nuclear Fusion*; y comenzar a formar estudiantes en nuestras universidades a través de cursos de especialidad y doctorado. Acciones de todo punto lógicas porque durante las sesiones estaba quedando claro que los últimos experimentos (Nova, Omega, Gekko XII y especialmente Centurion/Halife) contestaban positivamente a la viabilidad de obtener la energía mediante FCI empujando a la comunidad internacional a una apertura urgente; artículos en el libro *Laser Interaction with Matter* editado por el Instituto.

El doctor Erik Storm (LLNL, EE.UU.), director del programa de láseres del LLNL, propuso a Guillermo Velarde dicha misiva que, por iniciativa de Velarde, tomó la forma de un manifiesto (*Manifiesto de Madrid*) (Figura 3). Directores de los laboratorios más importantes del mundo en FCI (ILE Japon, CEA Francia, Lebedev Institute Rusia, MPQ Garching RFA, ENEA Frascati Italia, LLNL, Laboratory Laser Energetic University Rochester en EE.UU.) lo firmaron junto a 130 científicos más, excepto los de los grandes laboratorios de EE.UU. que fueron advertidos sobre la política restrictiva americana. De la trascendencia del documento y su repercusión da cuenta el comentario de Edward Teller que consideró el mismo como un paso decisivo hacia la desclasificación. Se mostraba así cómo métodos originalmente desarrollados para la defensa podían ser útiles para obtener energía mediante la fusión nuclear. La con-

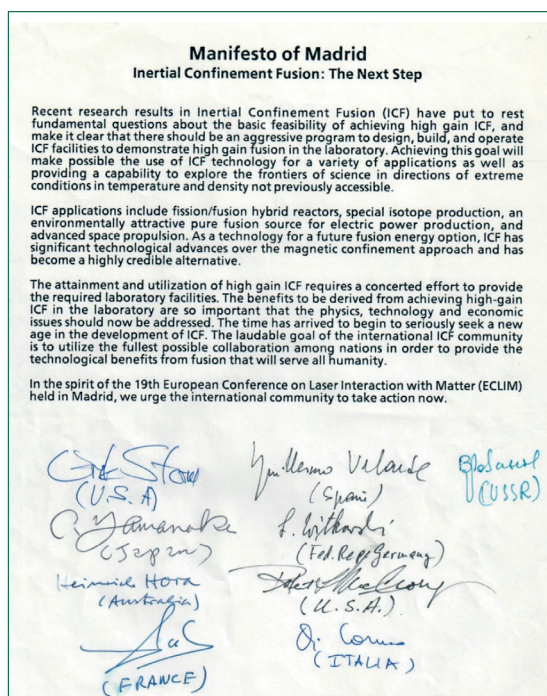


Figura 3. Manuscrito original del conocido como Manifiesto de Madrid (1988).



Figura 4. Entrega de la Medalla Edward Teller a Guillermo Velarde en 1997 por el propio Teller estando a la derecha de la imagen J. Nuckolls quien publicó los primeros artículos sobre la FCI por láser.

firmación vino posteriormente dada por los secretarios de Energía de los EE.UU. en 1990 (James D. Watkins) y 1993 (Hazel R. O'Leary).

Importancia fundamental dio Velarde al papel de la difusión de los conocimientos de la FCI para los estudiosos del tema lo que es patente en tres libros, además del ya mencionado del ECLIM.

Nuclear Fusion by Inertial Confinement: A Comprehensive Treatise que recoge como herencia de lo auspiciado en el ECLIM 88 la física de la FCI con detalle para estudiantes y estudiosos con capítulos de autores importantes en los diversos temas. La edición del libro tuvo sus problemas para los editores por el problema apuntado en la Conferencia, lo que queda patente en su nota: "This book is restricted to direct-drive because indirect drive involves several sensitive topics which are classified in some countries and are not frequently treated in the open bibliography. Moreover, not all the authors involved in the book could accept the inclusion of this subject in our pages, and we did not wish to induce a schism in our scientific community".

Energy from Inertial Fusion fruto del empuje que algunos, entre los que estaba Velarde, dieron en el seno del OIEA a la FCI, y que recogía no solo la física de las cápsulas sino los aspectos básicos de los componentes, seguridad y economía de un reactor. En el prefacio, N.G. Basov, J.H. Nuckolls, R. Dautray remarcaban: "By the mid-1980s the combination of high energy laser facilities, diagnostic capabilities and theoretical knowledge, in particular the understanding of relevant scaling

laws, was sufficient to allow a series of definitive and crucial tests of our understanding of the physics of inertial fusion" ... "but we must emphasize the fact that the technological development of inertial fusion as an energy option has not been pursued with the same vigour as the scientific development. Much work remains to be accomplished and many significant technological challenges overcome before the scientific feasibility can be converted into a demonstra-

tion of the technical, industrial and economic feasibility of an inertial fusion energy power plant".

Inertial Confinement Nuclear Fusion: A Historical Approach by Its Pioneers, donde aquella idea que tuvieron juntos el Premio Nobel Basov y Velarde y que se fue dejando, se retoma en 2002 y sale este libro único en el que dejan su vida dedicada a la FCI, con sus palabras tal como las escribieron, los que fueron todo en diversos momentos en el amanecer de esta física. Este libro se encuentra entre los recomendados de EUROfusion *Enable Research Towards Inertial Fusion Energy*.

COLOFÓN

Concluyamos como él querría, con sobriedad y decisión. Recibió muchos premios (Archie Harms Award, Edward Teller Medal for Inertial Fusion Science (Figura 4), Medalla de las Fuerzas Armadas Marques Santa Cruz de Marcenado, etc.) pero su fuerza estaba en que creía firmemente que tenía una misión, un anhelo, un sueño, algo que crear y dejar ... y lo dejó ... vaya si lo dejó!

Hoy su Instituto sigue vivo con gente joven muy implicada en el mismo, que mantiene su espíritu, el de explorar nuevas áreas de ciencia además de seguir con la idea de la FCI y la energía. Gracias Guillermo !!! ■

Más detalles de los aquí expuestos se encuentran en:

- "Professor Guillermo Velarde and the Madrid manifesto: a leap forward in ICF scientific collaboration" N. Carpintero-Santamaría and J. Manuel Perlado, Cambridge Univ. Press, *Laser and Particle Beams*, <https://doi.org/10.1017/S0263034619000302>
- Files of the Instituto de Fusión Nuclear "Guillermo Velarde" (IFN GV). ETSII – UPM. Madrid (Spain)
- Broad, W.J. (1988). Secret Advance in Nuclear Fusion Spurs a Dispute Among Scientists. *The New York Times*. Monday March 21, 1988.
- Broad, W.J. (1992). The (Bomb) Secret's Out. Foreign Moves to Harness Electricity From Fusion Forces U.S. to Open Up. *Herald International Tribune*. The Hague, September 29, 1992.
- Joint Soviet-United States Statement on the Summit Meeting in Geneva November 21, 1985. <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=38086>
- Watkins, J.D. (Admiral U.S. Navy Retired) (1990) Opening Address for the Thirteenth International Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research. The Secretary of Energy. Monday, October 1, 1990. Department of Energy. United States of America.
- DOE Facts (1993). Questions and Answers. Office of the Press Secretary. Department of Energy. (pp. 45-46)
- DOE News. December 7, 1993. Energy Secretary Unveils Openness Initiative and De-classification of Inertial Confinement Fusion Information. R-93-254).
- Velarde, G., Mínguez, E., and Perlado, J.M. (Eds) (1988). *Laser Interaction with Matter*. World Scientific Publishing Co. Pte.Ltd. 490 pages.
- Velarde, G., J.M. Martínez-Val, J.M. and Ronen, Y. (1992) (Eds) *Nuclear Fusion by Inertial Confinement: A Comprehensive Treatise*. CRC Press. Florida. 768 pages.
- Hogan W., Coutant J., Nakai S., Rozanov V.B., Velarde G. (Eds.), *Energy from Inertial Fusion*. (1995). International Atomic Energy Agency (IAEA). STI/PUB/944. Vienna.
- Velarde, G. and Carpintero-Santamaría, N. Eds., (2017) *Inertial Confinement Nuclear Fusion: A Historical Approach by Its Pioneers*. UK: Foxwell & Davies Ltd. 542 pages.
- Hora, H. and Miller, G.H. (2005). *Edward Teller Lectures: Lasers and Inertial Fusion Energy*. Volume 13 LPRR. London Imperial College Press.