

# **¡CHECA ESTO!**

*Número 065, 24/mayo/2012*

**Jerry N. Reider Burstin (jnreider@anahuac.mx)**  
**Coordinador Académico, Área Electricidad y Telecomunicaciones**  
**Facultad de Ingeniería – Universidad Anáhuac.**

Los experimentos de “criticalidad”:

Segunda parte



## *Uno pequeñito y el otro gordo.*

Las investigaciones efectuadas durante los años inmediatamente anteriores al inicio de la Segunda Guerra Mundial y los primeros años de este conflicto revelaron que solamente existen dos materiales fisibles "prácticos", con base en los cuales resulta factible configurar tanto dispositivos nucleares del tipo explosivo como reactores nucleares. Ellos son el isótopo 235 del Uranio y el isótopo 239 del Plutonio.

En su forma natural, el Uranio existe como una mezcla de tres isótopos, con las siguientes abundancias relativas:

- Uranio 234 – 0.0050 a 0.0059 %
- Uranio 235 – 0.07198 a 0.07202 %
- Uranio 238 – 99.2739 a 99.2752 %

El Uranio 238, como exponente mayoritario de este elemento, también se puede fisurar pero es considerablemente más difícil lograr que eso suceda. Lo más usual es que, sometido al bombardeo neutrónico en el seno de un reactor nuclear, termine capturando un neutrón para sufrir una serie de transmutaciones, parecidas a la reacción presentada en el capítulo anterior de esta serie y forme un átomo de Plutonio 239. Fue precisamente, como aplicación práctica de esta reacción, que los administradores del Proyecto Manhattan dispusieron la instalación de una enorme planta para la conversión de Uranio 238 a Plutonio 239 en el poblado de Hanford, Estado de Washington, localidad muy remota por aquello de los accidentes radioactivos.

Como ya se vio en el capítulo previo, el Plutonio 239 es un material de muy difícil manejo y es por tal motivo que no suele ocuparse para confeccionar las cargas de combustible de los reactores nucleares civiles destinados a la generación de energía eléctrica, la investigación y la medicina nuclear. Por ello se prefiere recurrir a su "primo bien portado" – el Uranio 235.

Contrario a lo que usualmente se piensa, los reactores nucleares NO pueden detonar en la forma como lo hace una bomba atómica. Estos aparatos operan con base en Uranio enriquecido aproximadamente al tres por ciento, mientras que para una bomba se precisa de material fisible (Uranio 235 o Plutonio) en grado armamentista; es decir, un enriquecimiento superior al 90 %.

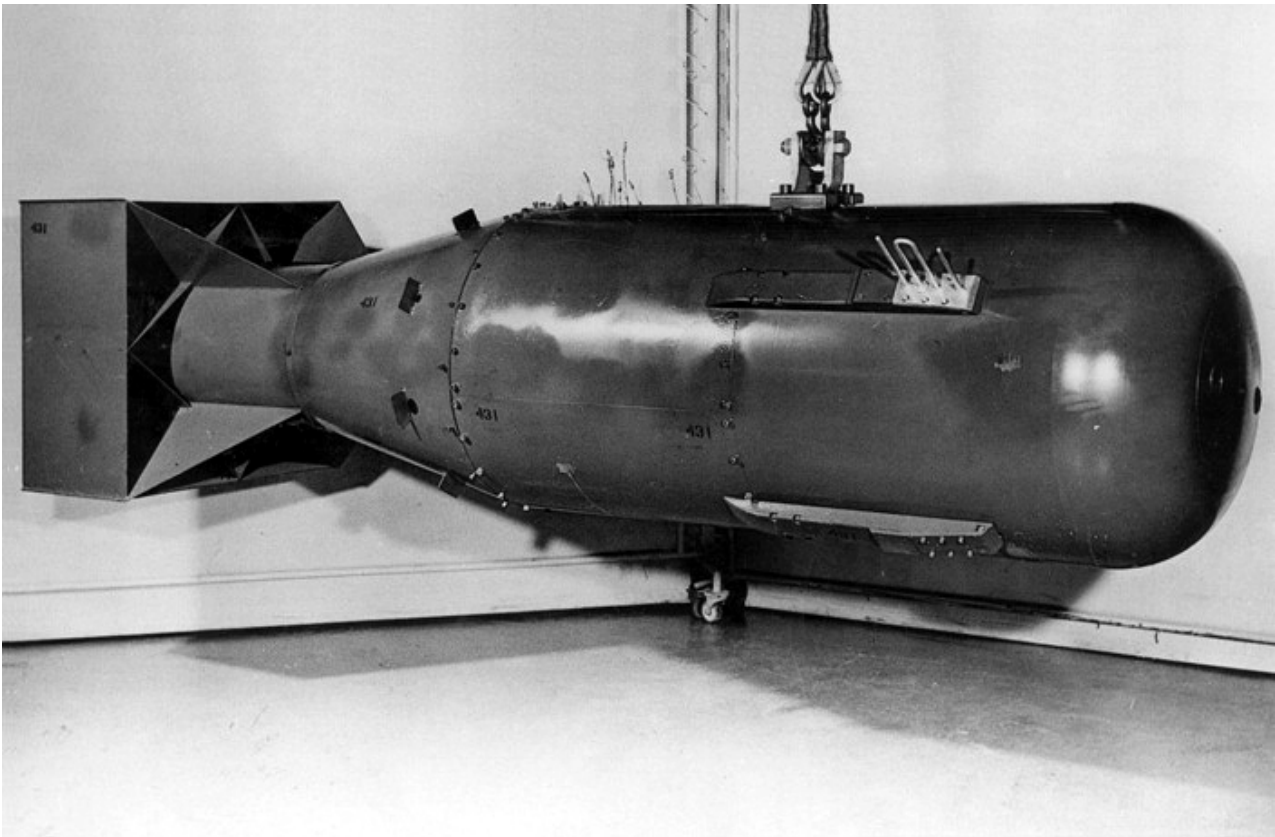
Para lograr las concentraciones de Uranio 235 antes citadas se requiere someter a este metal a un proceso de "enriquecimiento" y que, así, pueda prestarse a las aplicaciones previamente descritas. Este proceso, tendiente a incrementar de manera artificial la proporción de este isótopo fisible, fue otra de las principales – y muy costosas – actividades emprendidas por el Proyecto Manhattan.

Otras dos actividades que reclamaron grandes esfuerzos en el transcurso del avance de este proyecto fueron:

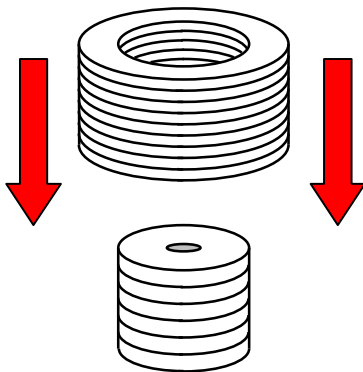
- Determinación de la masa crítica. De los trabajos teóricos, así como de las investigaciones preliminares, se encontró que, para mantener una reacción en cadena y lograr la generación de energía dentro de un lapso de tiempo muy breve como para que el material "explote" de manera efectiva y contundente, es menester contar con una muestra mínima, por debajo de la cual dicha reacción no se sostiene. Se hace referencia al artículo marcado con el número 006 de esta misma serie ¡Checa Esto! donde se presenta una explicación de este concepto. Se resalta de manera muy especial que estos estudios representaron un triunfo monumental para la disciplina de la Estadística, pues predijeron un fenómeno muy complejo en forma puramente teórica y sin contar con el material requerido para conducir experimentos ni pruebas.

- Desarrollo de un dispositivo bélico "entregable" (*deliverable*), con base en los sistemas y métodos para manejo de explosivos y transporte disponibles en aquella época. En términos militares, a esta etapa del proyecto se le conoce con el término en inglés *weaponize* y que, aparentemente, no admite traducción. Para el desarrollo de este trabajo se recurrió a los conocimientos existentes relativos a los sistemas de armamento (*ordnance*) aunque, dadas las circunstancias, surgió la necesidad de desarrollar nuevas técnicas muy radicales. Es el estudio de éstas lo que nos conduce al tema que constituye el enfoque primario de esta segunda parte.

Hacia mediados del año 1945, con la inminente victoria en Europa y la campaña del Océano Pacífico en pleno apogeo, las instalaciones de enriquecimiento del Proyecto Manhattan habían logrado producir un monto de Uranio 235, grado armamentista, suficiente para confeccionar una sola bomba que ocupaba 64 kilogramos de este material, conforme a la geometría adoptada para ella. De aquí la decisión de ensamblar un solo dispositivo basado en un diseño del tipo "cañón de artillería" (*gun type*) y bautizado con el nombre de "*Little Boy*".



La ilustración de la página siguiente detalla la construcción interna de esta bomba.

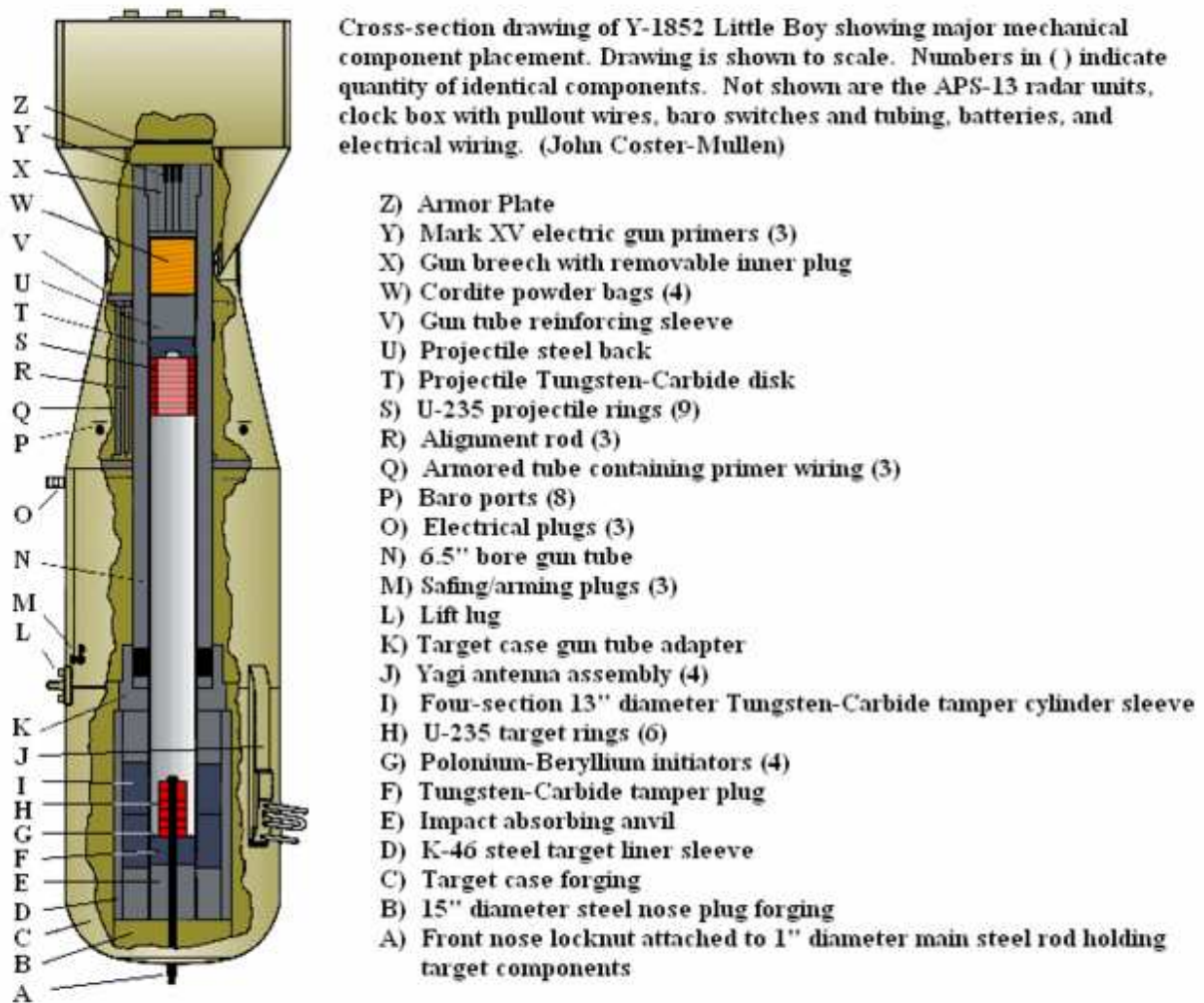


La pieza en la parte inferior, denominada con la letra "H", se encuentra fija y sirve como "blanco" al final de un barril de artillería (letra "N") especialmente adaptado para esta aplicación. Consiste en seis discos de Uranio 235 con forma de rondana sujetos firmemente a una base mediante un perno de acero de una pulgada de diámetro. Como tal, forman una especie de "tapón" (*plug*) con 100 milímetros de diámetro y 180 milímetros de longitud. Siendo su masa igual a 25.6 kilogramos representa el 40% del total y es ligeramente inferior a la masa crítica para esta geometría.

Por su parte, el proyectil, marcado con la letra "S" es un apilamiento de nueve anillos de Uranio 235 formando una pieza compacta con diámetro exterior de 159 milímetros, diámetro interior de 100 milímetros y longitud de 180 milímetros. Se comprende como este conjunto de anillos forma una especie de recipiente en cuyo interior puede quedar alojado el tapón arriba descrito. Con una masa de 38.4 kilogramos, constituye el 60% de la masa total fisible y queda situada por encima de la masa crítica. Empero, debido a la geometría de cilindro hueco, su superficie permite una mayor difusión de neutrones hacia el exterior confiriéndole la propiedad de ensamble sub-crítico.

Al ser accionada una carga explosiva consistente en cuatro bolsas de cordita (letra "W" en diagrama), el proyectil "S" es impulsado a una velocidad de 300 metros por segundo a lo largo de los 1800 milímetros del barril y "abraza" al blanco "H" formando una pieza sólida cuyas propiedades son ahora súper-críticas.

El impacto contra el yunque de soporte "E" y el reflector neutrónico de carburo de tungsteno "F" activa los cuatro iniciadores de Berilio-Polonio "G". A su vez, éstos reaccionan emitiendo abundantes neutrones para dar inicio a la reacción explosiva.



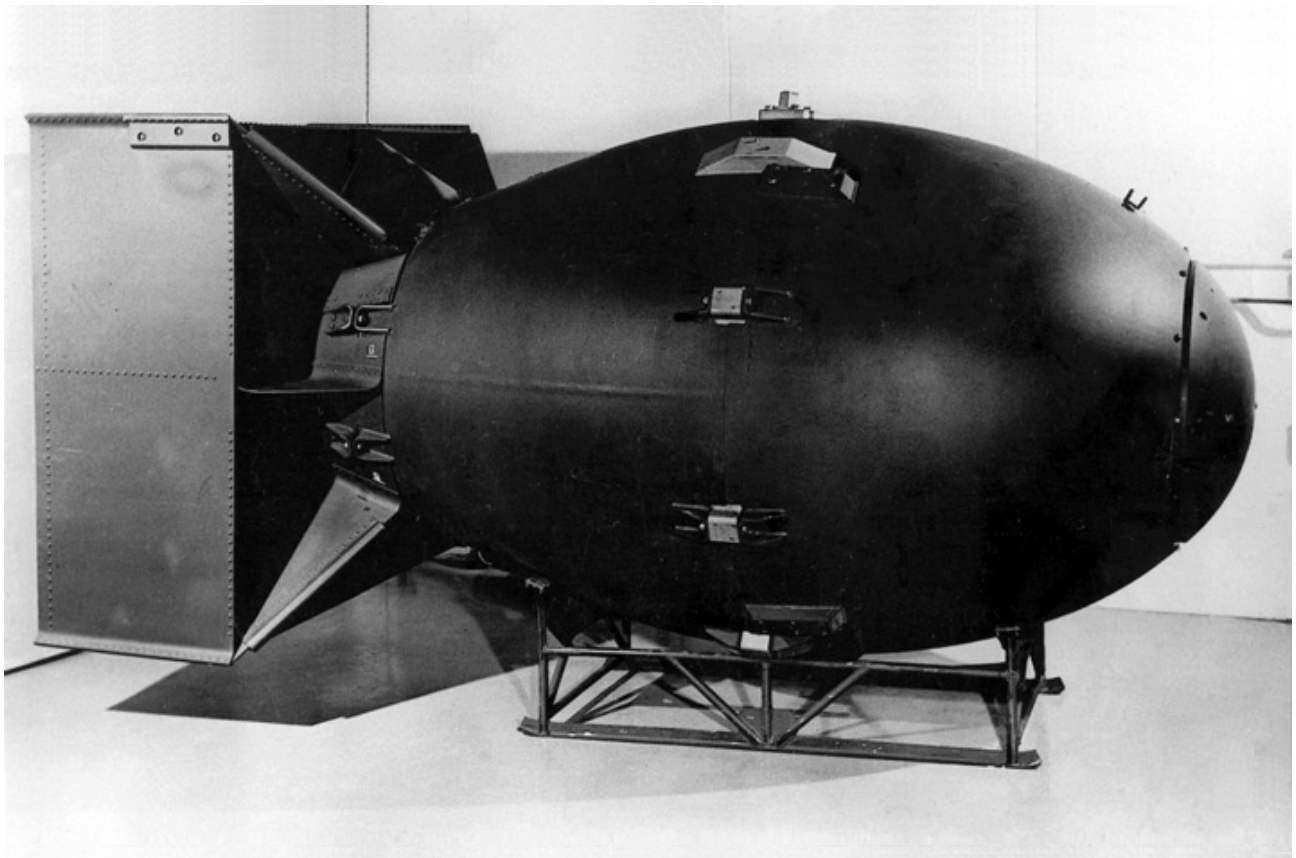
"Atom Bombs: The Top Secret Inside Story of Little Boy and Fat Man," 2003, p 112.  
John Coster-Mullen drawing used with permission

El simple hecho que todo este ensamblaje funcionara correctamente a la primera y sin haber sido previamente ensayado representa un tributo a la Ciencia Moderna. Empero, *Little Boy* tuvo un rendimiento en extremo ineficiente si se toma en cuenta la gran cantidad de material fisible empleado y cuyo costo de producción ascendió a centenares de millones de dólares. La estimación oficial establece que, en esta primera detonación sobre la ciudad japonesa de Hiroshima el 06 de agosto de 1945, se generó una energía de 16 kilotonnes ( $6.694 \times 10^{13}$  joule), equivalente a tan sólo 745 miligramos de materia totalmente convertida a energía conforme a la famosa ecuación  $E = mc^2$ .

Eventualmente, los ensayos nucleares conducidos durante los años posteriores a la Guerra dieron lugar a importantes mejoras en la eficiencia, y el consiguiente incremento en la potencia explosiva, pero con la agravante de ciertos incidentes siniestros que, no siendo del dominio público, serán descritos en el capítulo subsiguiente de esta misma serie.

Aquella referencia al "primo bien portado" al principio de este artículo deriva de la noción que la velocidad de 300 metros por segundo empleada para unir los dos ensamblajes de Uranio 235 resulta adecuada. Pero no así en el caso del Plutonio 239 – el "malo" de nuestra historia, para el cual la velocidad necesaria de aproximación debía exceder los mil metros por segundo. Las proyecciones emprendidas demostraron que los enormes tamaño y peso requeridos para un cañón capaz de imprimir semejante velocidad al proyectil evitaría el acarreo de una bomba atómica basada en Plutonio en la bahía de bombas de un B-29, el avión más grande disponible en aquel entonces; sería *non-deliverable*. ¿Por qué esta diferencia tan significativa?

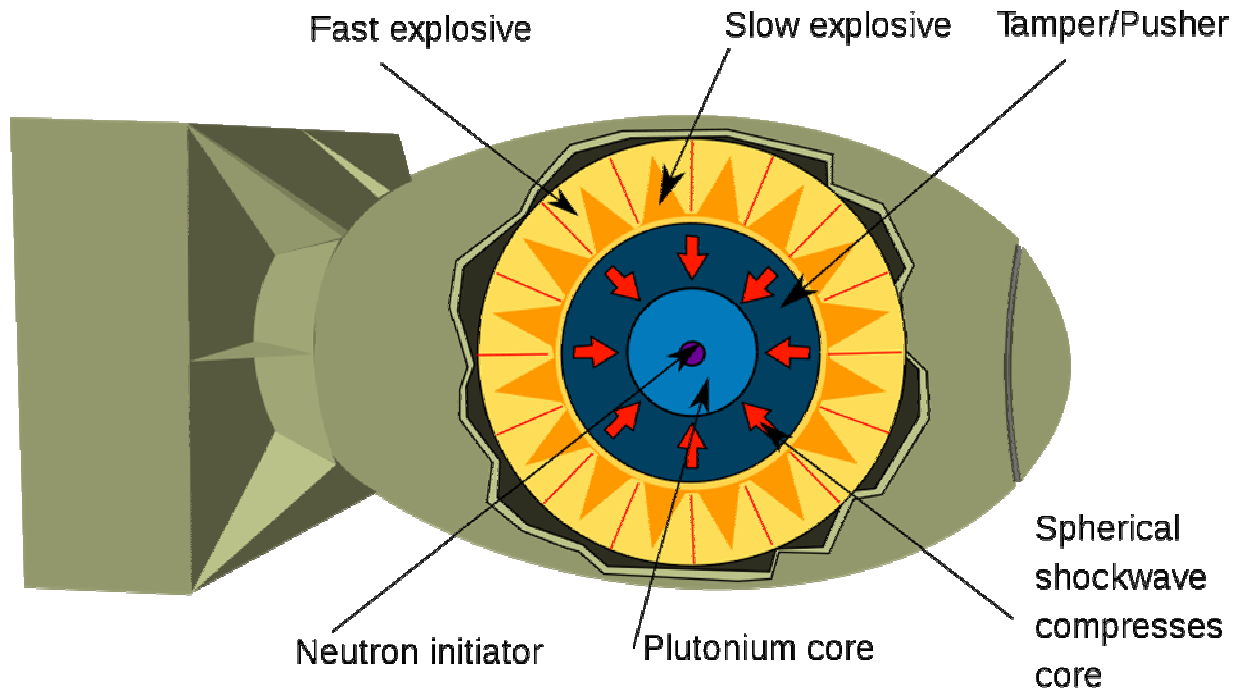
El equipo de especialistas del Proyecto Manhattan en la planta de Hanford, a cargo del físico Emilio Segré, determinó la existencia de un 0.9% del isótopo Plutonio 240 en el producto extraído de los reactores. Dicha contaminación le confiere a este material la característica de exhibir una probabilidad sumamente elevada de una "pre-detonación" debido a lo que se conoce como "fisión espontánea". Como consecuencia de ello, basta que dos ensamblajes sub-críticos de este material se aproximen lo suficiente entre sí para dar inicio a la reacción en cadena, no siendo necesario que se encuentren unidos estrechamente.



Hacia junio de 1944, con la Guerra entrando en sus fases finales, el tiempo apremiaba y debía encontrarse otra solución. Fue de aquí que surgió el concepto de la implosión mediante el empleo de "lentes explosivos" y que dio lugar al dispositivo bautizado como "Fat Man".

Ya se hizo referencia previamente a la idea en el sentido que la masa crítica de cierto material fisible depende muy sensiblemente tanto de su reactividad como de su geometría. Es decir, se puede tener el suficiente material para conformar una masa crítica pero con la forma de un ensamble sub-crítico de una sola pieza. Así, en vez de unir dos piezas disparando una de ellas a gran velocidad en contra de la otra, quizá funcionaría mejor aprovechar una onda de choque esférica, generada por una explosión "hacia adentro" – de aquí el término "implosión" – para comprimir a una esfera hueca de Plutonio obteniendo una esfera muy densamente empacada y súper-crítica.

No obstante lo sencilla que pueda parecer esta descripción, el problema teórico resultó horriblemente complejo y su implantación práctica todavía peor. Para visualizar el nivel de dificultad hubo quien lo comparó con el proceso de "aplantar una lata llena de cerveza para hacerla bolita, pero en tal forma que el líquido en su interior no salga disparado en forma de chorros". Tras muchas complicaciones, gastos y "demás", eventualmente alcanzaron el éxito y lograron fabricar dos dispositivos – conocidos coloquialmente como *gadgets*.



El primero de ellos se empleó para la explosión de prueba / demostración "Trinity" de Alamogordo, Nuevo México, en la madrugada del 16 de julio de 1945, con un rendimiento de 18.6 kilotones. Fue el amanecer de la Era Atómica y la prueba palpable que la manera de "hacer Ciencia" había cambiado profundamente.

El segundo, con una potencia explosiva de 22 kilotones, fue dejado caer sobre la ciudad japonesa de Nagasaki el 09 de agosto de 1945, siendo el golpe final de la Segunda Guerra Mundial.

Los estudios, trabajos y ensayos referentes a este tema eventualmente dieron lugar a la disciplina que ahora se conoce como Hidrodinámica Computacional (CFD – *Computable Fluid Dynamics*), cuya inminente aplicación habría de materializarse en el desarrollo de la Bomba de Hidrógeno. Pero en el camino – ese "demás" antes aludido – se dieron varias bajas de personas quienes cayeron víctimas por el descuido o simplemente por el riesgo que implica el estar jugando con cosas tan espeluznantemente peligrosas.

*Continuará...*