

La máquina a bobinas magnéticas del joven sargento Lavréntiev: Los reactores de fusión nuclear Tokamak



El joven sargento del Ejército Rojo Oleg Alexandróvitch Lavréntiev (1926-2011), que acabaría siendo doctor en física nuclear y teórica y el “abuelo” de la bomba termonuclear soviética y los reactores de fusión TOKAMAK, sobre los que se basa actualmente el ITER. Foto: © Agencia Federal de Archivos, Ministerio de Cultura de la Federación Rusa.

Imagínate: es 1948, formas parte del poderoso Comité Central del Partido Comunista de la URSS y de algún modo cae en tus manos la carta de un cierto sargento [Oleg Lavréntiev](#), de 22 años, destinado en un [remoto agujero del Océano Pacífico](#). El joven

sargento Lavréntiev dice que sólo acabó la secundaria porque se fue a la [guerra](#), pero le gusta mucho la física atómica; incluso se gasta parte de su escasa paga en una suscripción a la revista [Avances en Ciencias Físicas](#). Ah, y que sabe cómo hacer una [bomba de hidrógeno](#) y un [reactor de fusión nuclear](#).

No sé tú, pero yo habría pensado que estaba ante el típico charlatán. O, más probablemente, me lo habría tomado a broma. Claro que eran malos tiempos para esa clase de humor, con el *padrecito* [Stalin](#) todavía en plena forma y el camarada [Beria](#) encargado de tratar con los bromistas (y también, en el más absoluto secreto, de supervisar el [programa soviético para hacer la bomba atómica](#), que ni eso tenían aún por esas fechas.) Hay que tener en cuenta que Oleg había tenido el cuajo de escribir primero al mismísimo Stalin y, al no recibir respuesta, decidió ponerse en contacto con los *segundones* del Comité Central, el muchacho. Asombrosamente, ni la carta terminó en una papelería ni el joven sargento Lavréntiev, natural de [Pskov](#), hijo de administrativo y enfermera, obtuvo un nuevo destino un pelín más al interior. Por la parte de [Kolymá](#) o así.

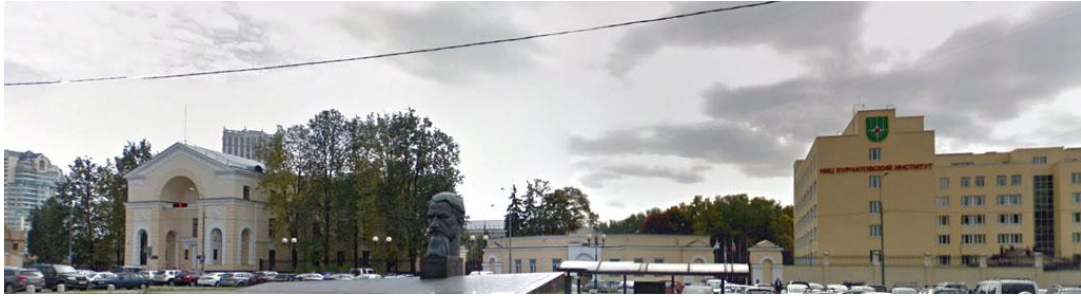
En vez de eso, poco después el oficial al mando del sargento Lavréntiev recibió instrucciones estrictas de que le proporcionaran un despacho con escolta y tiempo para plasmar sus ideas de manera más exhaustiva con la máxima discreción. Cosa que debió dejar a todos sus compañeros, empezando por el oficial al mando en cuestión, bastante atónitos. Dos años después, el 29 de julio de 1950, Oleg manda a Moscú un paquete por correo militar secreto donde describe los principios de un arma termonuclear por fusión de [deuteruro de litio](#) (“*liddy*”) y una máquina para producir grandes cantidades de electricidad mediante una “[trampa electromagnética](#)” toroidal para confinar reacciones del [deuterio](#) y el [tritio](#). Que es, exactamente, el principio de funcionamiento de todas las armas termonucleares del mundo y los reactores de fusión tipo [Tokamak](#), como el [ITER](#) que se está construyendo ahora mismo.

El paquete acabó ni más ni menos que en manos de [Andréi Sájarov](#), quien ya trabajaba con [Ígor Tamm](#) en esas mismas cuestiones, al amparo del entonces secretísimo *Laboratorio n° 2* o *Laboratorio de Aparatos de Medida* de la Academia de Ciencias de la URSS, hoy en día conocido como el [Centro Nacional de Investigación – Instituto Kurchátov](#). En su evaluación, Sájarov escribió:

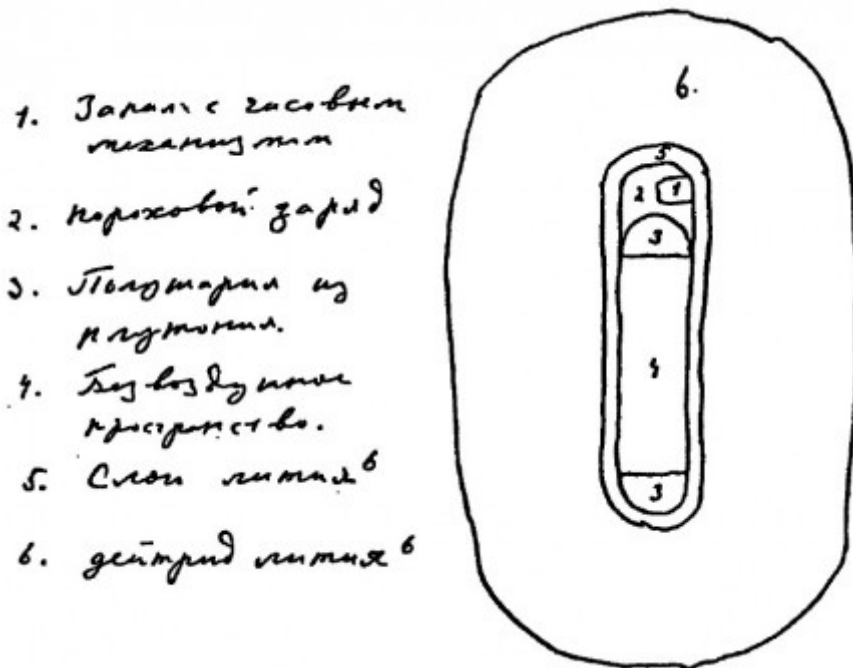
“Creo que es necesario discutir detalladamente el proyecto del camarada. Con independencia de los resultados de esta discusión, debe reconocerse la creatividad del autor.”

Mucho tiempo después, en sus memorias, Sájarov se explayaría más a gusto sobre el paquete remitido por el sargento Lavréntiev desde su lejana base del Pacífico:

“Quedé enormemente impresionado por la originalidad y la audacia de esas ideas producidas independientemente, mucho antes de que comenzaran a aparecer las primeras publicaciones sobre el tema. (...) [Mis] primeras tenues ideas sobre el aislamiento térmico magnético comenzaron a formarse al leer su carta y escribir el informe al respecto. (...) El trabajo de Lavréntiev fue un ímpetu para mejorar la investigación del aislamiento térmico magnético del plasma de alta temperatura que realizábamos Tamm y yo.”



Entrada principal al Instituto Kurchátov en la actualidad. Imagen: © Google Street View.



Diseño original de Oleg Lavréntiev para un arma termonuclear. 1) Detonador temporizado. 2) Carga explosiva [convencional]. 3) Semiesferas de plutonio. 4) Cámara de vacío. 5) Capa de litio-6. 6) Deuteruro de litio-6. Aunque es muy primitivo y requeriría varias modificaciones importantes para hacerlo funcionar, todos los conceptos esenciales de un arma con componente de fusión están ahí: se trata básicamente de un diseño “sloika” con un primario de detonación por disparo (similar a la idea inicial “Thin Man” estadounidense para una bomba de fisión de plutonio, o a la bomba “Little Boy” de Hiroshima si sustituimos el plutonio por uranio) envuelto en un secundario compuesto por una capa de litio y, muy acertadísimamente, deuteruro de litio-6. El deuteruro de litio-6 (“liddy”) fue y sigue siendo el explosivo de fusión idóneo para las armas termonucleares. Hay que tener en cuenta que cuando Lavréntiev ideó esto, todas estas cosas eran altísimo secreto o simplemente ni siquiera estaban inventadas y puede decirse que “se lo sacó todo de su cabeza”. Imagen: © Agencia Federal de Archivos, Ministerio de Cultura de la Federación Rusa.

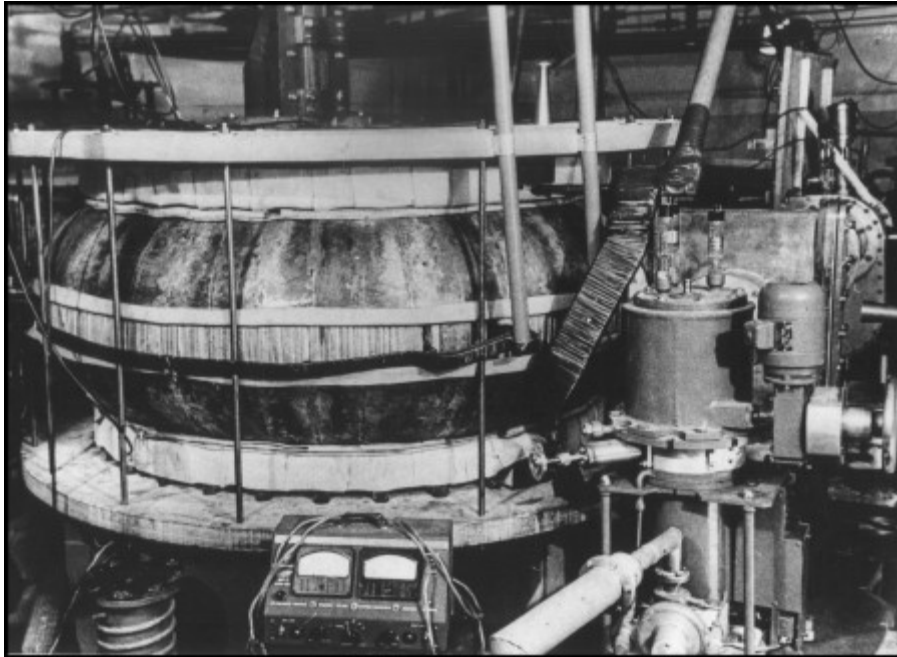
Apenas un mes después, Lavréntiev es desmovilizado y matriculado en la Facultad de Física de la Universidad Estatal de Moscú, con derecho a habitación y beca. Ahí le piden que desarrolle más su propuesta. Oleg se pone a ello. En octubre del mismo año, Sájarov y Tamm completan el primer análisis de un reactor de fusión nuclear por

confinamiento magnético, bajo el auspicio de [Ígor Kurchátov](#), basándose no poco en el documento original del *joven sargento*. Así, pasaron a la historia como los inventores de este tipo de reactor, el más prometedor y el más utilizado del mundo hoy en día, mientras que Lavréntiev quedaría relegado a una oscuridad que no comenzó a esclarecerse hasta que se desclasificaron los documentos secretos de la época en el año 2000.

Hay que decir que a Oleg no le fue mal. Cuando terminó de desarrollar sus planteamientos en enero de 1951, le invitaron al Kremlin, se entrevistó con Beria en persona, le aumentaron la beca, le proporcionaron una habitación mejor, le dieron acceso a todas las publicaciones científicas que necesitara y le pusieron un tutor personal: el matemático [Alexander Samarskiy](#), prácticamente desconocido en Occidente pero un *peso semipesado* de la ciencia soviética, experto en [análisis numérico](#) y [física computacional](#). Así Oleg se graduó con honores e incluso pasó una temporada por el exclusivísimo *Laboratorio de Aparatos de Medida*, donde trabajaban Sájarov y Tamm. Pero luego, por razones no demasiado claras fue transferido al [Instituto de Física y Tecnología de Járkov](#) (Ucrania, entonces parte de la URSS), otro centro de investigación muy prestigioso. Ahí el antiguo sargento Oleg Lavréntiev, que postuló una bomba termonuclear y un reactor de fusión con sólo su educación secundaria, su suscripción a *Avances en Ciencias Físicas*, su curiosidad y su pasión, pasó el resto de su carrera profesional haciendo lo que le gustaba. No tuvo una mala vida y en esa ciudad murió el 10 de febrero de 2011, a los 84 años.

Sin embargo, como te digo, su papel en el desarrollo de las armas termonucleares de la URSS y sus reactores de fusión por confinamiento magnético permaneció oculto hasta el año 2000, e incluso hoy en día casi nadie lo conoce fuera del espacio post-soviético. Sájarov y Tamm (e, indirectamente, Kurchátov) se llevaron todos los méritos. Que no digo que no se lo curraran y no los merecieran, que se lo curraron y los merecieron, pero tras ellos estuvo la sombra de Lavréntiev. El caso es que los reactores Tokamak comenzaban a nacer en el *sector 44* del Laboratorio de Aparatos de Medida de la Academia de Ciencias de la URSS, situado al Noroeste de Moscú. Vamos, el Instituto Kurchátov.

La toroidalnaya kamera s magnitnymi katushkami



El primer prototipo de reactor de fusión Tokamak, llamado T-1, en el Instituto Kurchatov de Moscú (1958). Foto: © ITER Organization.

Al principio, no se llamaron Tokamak, y no todos creían en ellos. El primer “aparato [toroidal](#)” para el control del plasma a alta temperatura construido en el sector 44 se llamaba TMP y era una cámara de porcelana, a la que luego le añadieron unas espirales metálicas por el interior. Después vinieron otros dos dispositivos con paredes de cobre y espacios de aislamiento. No fue hasta finales de 1957 que estos primeros *aparatos de medida* termonucleares dieron lugar al dispositivo T-1, “montaje experimental nº5” o “disposición de 1958” (por el año en que se puso en marcha.)

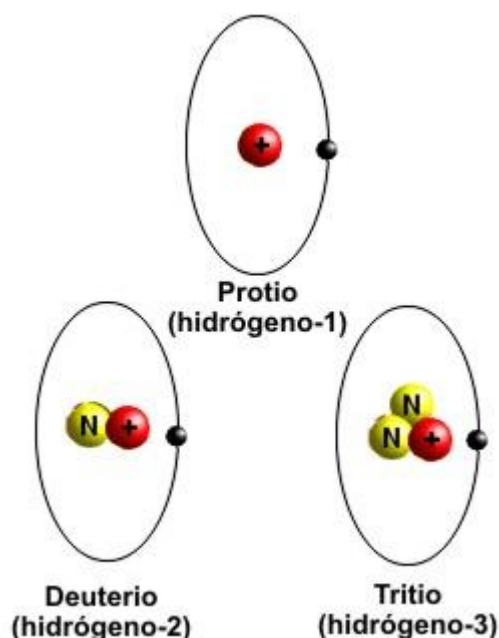
Hubo algo de bronca para ponerle nombre. Estuvo a punto de llamarse “Tokomag”, por **т**ороидальная **к**амера **м**агнитная, o sea *toroidalnaya kamera magnitnaya*, es decir *cámara magnética toroidal*. E incluso “Tokomak”, porque a algunos oídos les sonaba mejor. Pero al final se impuso la opinión del subdirector del laboratorio, Ígor Golovkin, que era un apasionado del proyecto: sus *estrellas* contenidas por confinamiento magnético se llamarían Tokamak, de **т**ороидальная **к**амера с **м**агнитными **к**атушками, pronunciado *toroidalnaya kamera s magnitnymi katushkami*, lo que viene siendo *cámara toroidal con bobinas magnéticas*. Algún otro dice que podría significar también **т**ороидальная **к**амера с **а**ксиальным **м**агнитным **п**олем (*toroidalnaya kamera s aksialnym magnitnym polem*, cámara toroidal con campo magnético axial), lo que define al ingenio igualmente bien. Yo me quedaré con lo de *cámara toroidal a bobinas magnéticas*, que era la idea original de Lavréntiev y suena más [sovietpunk](#) y molón. :-P

Como puede suponerse, esto del bautismo no fue la única bronca que rodeó al proyecto, ni mucho menos la más importante. El afamado académico [Lev Artsimovich](#) (jefe del Departamento de Investigación del Plasma), quien luego se haría un auténtico converso hasta el punto de que le llaman “el padre del Tokamak”, [decía por entonces](#) que

“conseguir la fusión con un Tokamak es como intentar crear un cigarrillo a partir del humo.” Muchos opinaban que este extraño *aparato de medida* jamás podría satisfacer la condición [Kruskal–Shafranov](#) y [estabilizar el plasma](#) en su interior.

Pero lo logró. En 1958, el llamado *montaje experimental n° 5* del Insituto Kurchátov, una sencilla cámara de cobre de 1,34 metros de diámetro con una [corriente eléctrica en el plasma](#) de 100.000 [amperios](#) y una intensidad del [campo magnético toroidal](#) de 1,5 [teslas](#), demostró que podía contener el plasma estabilizado y sería posible fusionar [deuterio](#) con él en una boscosa periferia de Moscú. Exactamente, [aquí](#). Así, el *montaje experimental n° 5* paso definitivamente a la historia como el Tokamak T-1. Una de las grandes puertas a la energía nuclear de fusión, la energía de las estrellas traída a la Tierra, se acababa de abrir sobre la idea original de un joven sargento que sólo contaba con su educación secundaria pero tenía mucha, muchísima audacia y curiosidad.

Diseñando estrellas



Los tres isótopos naturales del hidrógeno: protio, deuterio y tritio. El deuterio y el tritio pueden fusionar con “relativa” facilidad. Pero obsérvese que la carga total del núcleo es siempre positiva. Esto tiende a separarlos por repulsión electrostática. Para que puedan entrar en contacto y fusionar, hay que “acelerarlos a temperaturas termonucleares.” Esta es también la razón fundamental de que la fusión fría, al menos en su forma convencional, no tenga demasiado sentido.

El problema básico para producir una [reacción nuclear de fusión](#) es que los [núcleos](#) de los [átomos](#) que constituyen toda la “[materia normal](#)”, como tú o yo por ejemplo, tienen [carga eléctrica positiva](#). Si recuerdas, en el núcleo atómico están los [neutrones](#), que no tienen carga, y los [protones](#), que la tienen positiva. Pero no hay ninguna carga negativa. Las cargas negativas están en los [electrones](#), situados en los [orbitales](#) de alrededor. Como estamos hablando de fenómenos [nucleares](#), nos tenemos que olvidar de los

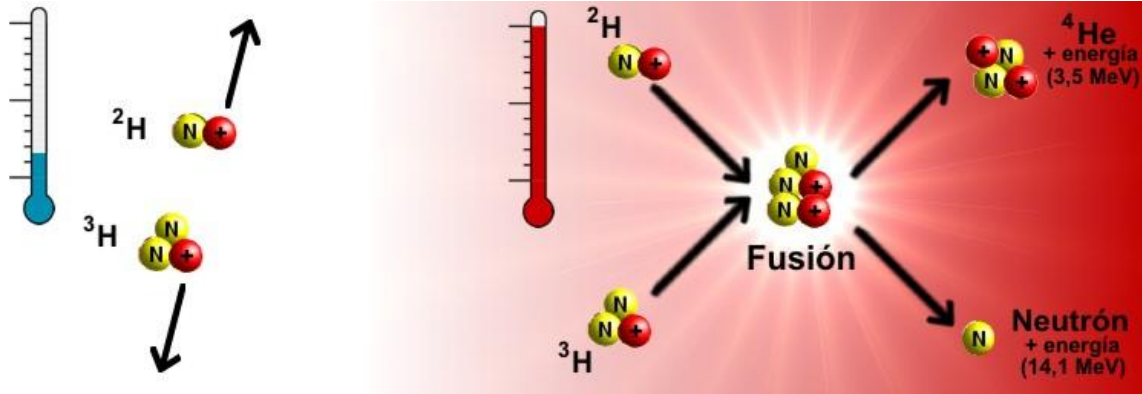
electrones y nos quedamos con los núcleos. Que, al estar compuestos exclusivamente por neutrones (sin carga) y protones (con carga positiva), son positivos, tanto más cuanto más grandes sean y más protones contengan. Pero desde el más básico de todos, el hidrógeno, con un único protón, tienen carga positiva.

¿Y qué? Pues que, como es bien sabido, *cargas opuestas se atraen y cargas iguales se repelen*. Igual que en los imanes. Dos polos positivos o dos polos negativos se repelen entre sí. Esto es la [repulsión electrostática](#). La única forma de unirlos es aplicando tanta fuerza que logre superar esta repulsión, siquiera sea temporalmente. Pero en condiciones normales, dos objetos con la misma carga (por ejemplo, dos núcleos atómicos) tienden a separarse, no a unirse y fusionar. (Y por eso lo de la [fusión fría](#) nos hizo alzar tanto la ceja a tantos desde el principio. Bajo [condiciones estándar](#), no hay ninguna manera obvia mediante la que los núcleos atómicos puedan vencer la repulsión electrostática hasta fusionar.)

Las estrellas, que son gigantescos reactores de fusión nuclear natural, hacen trampa. Resuelven el problema a base de pura fuerza bruta, con la fuerza de la gravedad. Como son tan grandes y tienen tanta masa, la gravedad las hace colapsar sobre sí mismas hasta que la presión y con ella la temperatura aumentan tanto como para alcanzar las a veces denominadas *temperaturas termonucleares*. Pero nosotros no tenemos semejantes masas a nuestra disposición.

La manera sencilla de resolver el problema, y la única que nos ha ido bien hasta el momento, es *explosiva*. Esto es: provocar un brutal pico de presión, temperatura y radiación que haga fusionar núcleos atómicos fácilmente fusionables, como el deuterio, el tritio o el litio. Pero el resultado es todavía más explosivo: así es, talmente, [como funciona un arma termonuclear](#). Claro, eso va muy bien para desintegrar a unos cuantos millones de prójimos con un golpe casi instantáneo de energía monumental, pero no tanto para mover *suavemente* nuestras sociedades. Si queremos energía de fusión *civil*, tenemos que producirla de una manera más lenta, progresiva, en un “reactor lento” o algo que se comporte como tal. Cosa que parecía sencilla y al alcance de la mano hace unas décadas, pero ha resultado ser uno de los problemas más difíciles a los que se ha enfrentado jamás la humanidad.

Explicado muy a lo sencillo, estas temperaturas termonucleares son muy, pero que muy superiores a lo que puede resistir ningún material. No se puede construir una “vasija” como las que usamos en los [reactores de fisión](#) de las centrales nucleares actuales. A las temperaturas propias de la fusión, *cualquier* vasija de *cualquier* material existente, imaginable o teorizable en este universo se convierte instantáneamente en [plasma](#) y se desintegra. (Y esa es una de las razones por las que las armas termonucleares son tan devastadoras: en las inmediaciones de la detonación, *ninguna* clase de materia puede pervivir de manera organizada.)

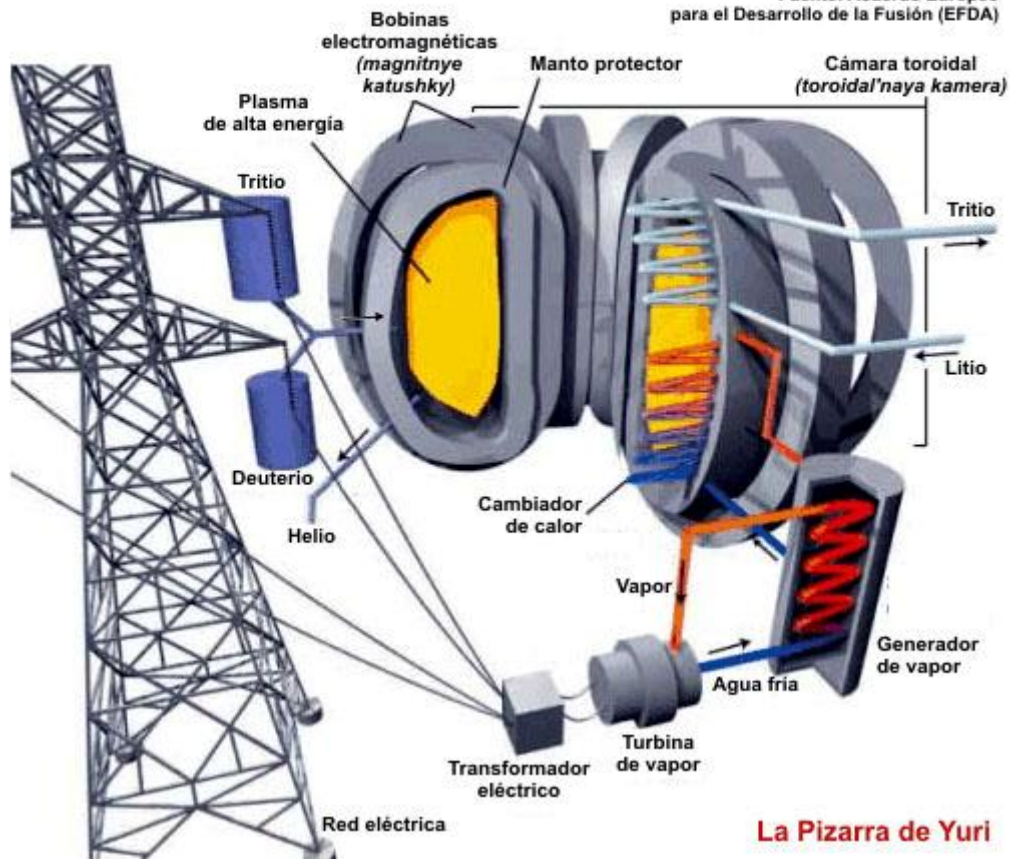


Polos opuestos se atraen, polos iguales se repelen. Los núcleos atómicos están compuestos por neutrones (sin carga) y protones (con carga positiva); como resultado, los núcleos en su conjunto son fuertemente positivos y por tanto se repelen con fuerza entre sí. En condiciones normales, esta repulsión los mantiene separados e impide que puedan llegar a fusionar. Sin embargo, a temperaturas termonucleares (millones de grados), los núcleos vibran violentamente y la inercia de estos movimientos es capaz de vencer a la repulsión electrostática, haciéndolos colisionar y fusionar entre sí con alta liberación de energía. En la imagen, dos núcleos de deuterio (hidrógeno-2) y tritio (hidrógeno-3) colisionan, fusionan y liberan un núcleo de helio-4 y un neutrón altamente energéticos.

En resumen: que sabemos cómo hacer fusionar cosas, pero no cómo ralentizar y contener la reacción para convertirla en esa *energía domadita* que mueve nuestros hogares, nuestros trabajos y nuestro mundo en general (y luego quienes tú ya sabes nos cobran a precio de oro...). A decir verdad, a estas alturas también sabemos cómo ralentizarla y contenerla... pero sólo en parte, de manera muy limitada, y consumiendo en el proceso total más energía de la que obtenemos. Es decir, que tenemos armas de fusión capaces de aniquilar civilizaciones enteras pero no tenemos más reactor nuclear de fusión eficaz que el sol brillando sobre nuestras cabezas.

Concepto del reactor de fusión TOKAMAK del Instituto Kurchatov, Moscú utilizado para el proyecto ITER

Fuente: Acuerdo Europeo
para el Desarrollo de la Fusión (EFDA)



Concepto básico para una central eléctrica de fusión nuclear basada en un Tokamak, como el que está desarrollando la cooperación internacional ITER.

Y no es porque no se le haya echado pasta y ganas encima, ¿eh? La energía nuclear de fusión prometía y promete ser tan estupenda que en algunos periodos se le han echado encima ingentes cantidades de dinero y no pocas de las mentes más brillantes del periodo. Pero aún así se resiste, la jodía.

Como te digo, el problema no es fusionar núcleos atómicos. Eso sabemos hacerlo. El problema es todo lo demás, y muy particularmente la producción y confinamiento de esa reacción con un saldo energético favorable. Como ya hemos visto, las estrellas como nuestro sol usan de manera natural el *confinamiento gravitacional* aprovechando su enorme masa. Vamos, que la gravedad de esa masa mantiene la reacción contenida durante largos periodos de tiempo en esas luminarias que cubren el cielo, como si dijéramos “empujando hacia adentro”. Puesto que como también hemos dicho nosotros no tenemos tales masas para trabajar, nos toca recurrir a trucos distintos. Hoy por hoy, estos son básicamente dos: el [confinamiento inercial](#) y el [confinamiento magnético](#). La *cámara a bobinas magnéticas* que imaginó el joven sargento Lavréntiev, o sea el Tokamak soviético, o sea el ITER internacional, utilizan esta segunda técnica.

En el mismo 1958 los científicos soviéticos presentaron los primeros resultados obtenidos con el dispositivo T-1 en la II Conferencia de Átomos para la Paz, celebrada en Ginebra. Este fue uno de los mayores encuentros científicos de la historia, con más

de 5.000 participantes. La URSS presentó un *paper* titulado “*Estabilidad y calentamiento de plasmas en cámaras toroidales.*” Se había tomado la decisión de desclasificar la investigación y en este artículo aparecía prácticamente todo, incluso un esquema de la máquina, salvo el nombrecito *Tokamak* de marras. Pese a ello, la *era Tokamak* acababa de nacer.

La era Tokamak



Interior del Tokamak JET detenido y (en la inserción) funcionando, con plasma en su interior.

Foto: Cortesía EFDA-JET.

Al dispositivo T-1, fundamentalmente experimental, le siguieron el T-2 del año 1960 y el T-3 de 1962. El T-3 era ya un dispositivo funcional por completo. En 1968, el Tokamak T-4 de Novosibirsk demostró la primera fusión nuclear casi-estacionaria. Los resultados del T-3 y el T-4 fueron tan prometedores que pronto comenzaron a construirse también fuera de la URSS. Los primeros fueron los japoneses, que arrancaron en 1969 con los JFT y los NOVA, antecesores del actual [JT-60](#). Les siguieron los estadounidenses con el Alcator A del Instituto de Tecnología de Massachusetts (1972), origen del [Alcator C-Mod](#), y después con el [DIII-D](#). En Francia tampoco quisieron perderse y en 1973 ponían en marcha el [Tokamak de Fontenay-aux-Roses](#) del que luego saldría el [Tore Supra](#) en [Cadarache](#), donde ahora se está construyendo el [ITER](#). Luego vendrían muchos más, en muchos países, desde [China](#), [Brasil](#) o [Italia](#) a [Irán](#), [Portugal](#) o [México](#). Y en España, el [Tokamak TJ-I](#) de 1984.

Los soviéticos, por su parte, no se durmieron en los laureles. Siguieron adelante con diseños cada vez más grandes y sofisticados. Vino el T-7, el primer Tokamak con [imanes superconductores](#). Le siguió el T-8, con la característica cámara con sección en

forma de “D” que se mantiene en los diseños actuales. Culminarían en el [Tokamak T-15](#) de 1988, sobre el que después se realizarían los estudios preliminares para diseñar el ITER; ahora lo están actualizando. Pero tras el colapso de la URSS se han quedado un poco fuera de juego, aunque anden liados con el [Globus-M](#); más que nada, participan en la cooperación ITER.

Pese al éxito del Tokamak, no todas sus alternativas han quedado aplastadas. El diseño [Stellarator](#), aunque quedó un poco pachucho durante una larga temporada, vuelve a presentar interés (en el [Laboratorio Nacional de Fusión del CIEMAT](#) tenemos uno: el [TJ-II](#).) Y por supuesto, la otra gran alternativa, el [confinamiento inercial](#), prosiguió con dispositivos como la [National Ignition Facility](#) estadounidense o el [Laser Mégajoule](#) francés, de doble uso en investigación civil / militar. En la National Ignition Facility parecieron obtener un [resultado muy importante](#) en septiembre de 2013 (producir [la misma energía que se consumía](#) para obtener la fusión), pero luego resultó que eso era [muy matizable](#) (y [aquí](#).) Tanto, que sólo obtuvieron un 0,78% de la energía consumida. :-/ En el [Joint European Torus](#), el Tokamak más grande del mundo, se llega al 70% y según algunos modelos teóricos del JT-60 japonés, se ha podido llegar al 125% (esto está disputado.) Pero para empezar a generar energía con el conjunto del reactor hay que llegar al 500% y para hacer una central de fusión práctica, superar el 1.000 o el 1.500% y preferiblemente rondar el 2.500%.



Una estrella y un mar llenos de hidrógeno con los que soñar: el Océano Pacífico y (algo de) sol matutino vistos desde Poronaysk (Sajalín, Rusia), donde estaba destinado el sargento Oleg A. Lavréntiev cuando tuvo su idea genial. Foto: Alex Nov., 2009.

El caso es que ahora mismo el gran proyecto internacional para obtener energía de fusión es un Tokamak: el conocido y ya muchas veces mencionado ITER, que debería empezar a dar resultados en el periodo 2020-2027. Si consigue sus objetivos, después tendrá que venir [DEMO](#) para convertirlo en una central eléctrica práctica allá por 2033-2040. [Ya te conté hace algún tiempo](#) que esto de la energía nuclear civil de fusión *avanzaba a su ritmo*, y por qué. Lo cierto es que sigue avanzando, pero comprendo que haya decepcionado a muchas personas. Hace décadas se crearon expectativas que en su momento se creían realistas... pero no lo eran. El problema resultó mucho más diabólico de lo que parecía. Eso sí, cuando lo consigamos, seguramente habrá que volver a acordarse de aquel sargentillo que con sus estudios de secundaria y su esforzada suscripción a *Avances en Ciencias Físicas*, mientras miraba al sol naciente sobre las aguas del Pacífico, tuvo una ocurrencia genial.

Bibliografía / Para aprender más:

- El [documento original remitido por el sargento Oleg A. Lavréntiev al Comité Central del Partido Comunista de la Unión Soviética, de 29 de julio de 1950](#) (recopilado en Phys. Usp. 44 862–864 (2001). doi: 10.1070/PU2001v044n08ABEH001122.) (En ruso, gratis; [en inglés](#), de pago.)
- ITER newsline: Arnoux, R.: [“La carta al Kremlin que lo empezó todo.”](#) (En inglés.)
- Bondarenko, B. D.: [“El papel desempeñado por O. A. Lavrentiev en la formulación del problema y el inicio de las investigaciones en fusión nuclear controlada en la URSS.”](#) Phys. Usp. 44 844–851 (2001), doi: 10.1070/PU2001v044n08ABEH000910. (En ruso, gratis; [en inglés](#), de pago.)
- Smirnov, V. P. (Instituto Kurchátov): [“Tokamak foundation in USSR/Russia 1950–1990”](#). Nucl. Fusion 50 (2010); doi: 10.1088/0029-5515/50/1/014003. Resumen [aquí](#). (En inglés.)
- EUROfusion: [“50 years of Tokamaks”](#) y [“Success of T-3 – breakthrough for tokamaks”](#). (En inglés.)
- ITER: [The machine](#). (En inglés.)
- Póster educativo de EUROfusion en [tamaño para imprimir](#) y [alta resolución](#) (ojo: fichero grandecito.) (En español.)
- Póster con el [listado de los principales Tokamak convencionales](#) (ojo: fichero tirando a grande.) (En inglés.)
- ...y un [curioso jueguecillo](#) de EUROfusion para Apple y Android sobre el control del plasma en el interior de un reactor Tokamak. :-P

Fuente: La pizarra de Yuri