

Apuntes sobre el anuncio de la Fusión Nuclear en EEUU

Dr. Román Linares Romero
Departamento de Física, UAM-Iztapalapa

Resumen: En este artículo de divulgación damos algunos elementos que permiten entender de mejor manera el anuncio hecho por la secretaria de energía de los EEUU, Jennifer Granholm, de los resultados obtenidos en la National Ignition Facility sobre el primer evento de fusión nuclear donde se obtuvo una energía mayor a la introducida para provocar la ignición.

El pasado 13 de diciembre de 2022, la secretaria de energía de EEUU, Jennifer Granholm (JG), anunció al mundo a través de una conferencia de prensa transmitida en vivo, el éxito histórico logrado por la National Ignition Facility (NIF), al haber logrado por primera vez un proceso de fusión nuclear donde la energía para producirla era menor que la energía obtenida. En este artículo damos algunos apuntes breves sobre el anuncio realizado, con la intención de dar elementos para entenderlo de mejor manera. El formato que seguiremos consiste en citar textualmente, fragmentos del discurso de la secretaria Granholm, para posteriormente contextualizar y explicar un poco más a fondo lo expresado.

JG: Los investigadores de Livermore y de todo el mundo han estado trabajando en este momento durante más de 60 años.

El anuncio se refiere a un resultado obtenido en el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (LLNL, por sus siglas en inglés), localizado al este de Livermore, en California, el cual es un centro de desarrollo e investigación financiado principalmente con fondos federales de los EEUU. De acuerdo con su página de internet, la misión que ha impulsado el trabajo del LLNL es aplicar la ciencia y tecnología para hacer del mundo un lugar más seguro “Mientras tenemos en mente nuestros compromisos cruciales impulsados por la

misión, aplicamos ciencia y tecnología de vanguardia para lograr avances en la disuasión nuclear, el contraterrorismo y la no proliferación, la defensa y la inteligencia y la seguridad energética y ambiental”. El laboratorio fue fundado en 1952 con el nombre de Lawrence Radiation Laboratory at Livermore como una filial del Laboratorio de Radiación de la Universidad de California en Berkeley y pasó a ser conocido como Laboratorio Lawrence Livermore en 1971. Los científicos Edward Teller y Ernest O. Lawrence, este último quien fungía como director del Laboratorio de Radiación de Berkeley, fueron los cofundadores del LLNL. En su origen se pretendía que el LLNL compitiera con el laboratorio de diseño de armas nucleares del Laboratorio Nacional de Los Álamos, Nuevo México, cuna del Proyecto Manhattan. Su primer director, Hermet York se aseguró que el nuevo laboratorio adoptara el punto de vista de la “gran ciencia”, abordando proyectos que suponían un reto con físicos, químicos, ingenieros y científicos de la computación trabajando juntos en equipos multidisciplinarios.

El NIF es un proyecto de investigación sobre fusión nuclear por confinamiento inercial que se desarrolla en el LLNL. El 5 de diciembre de 2022, obtuvo por primera vez un factor de ganancia positivo, es decir, las reacciones de fusión desencadenadas durante el experimento generaron más energía de la suministrada al combustible, convirtiéndose en el primer laboratorio en conseguir un factor de ganancia positiva.

JG: ¿Qué hace este logro? dos cosas, primero, fortalece nuestra seguridad nacional porque abre un nuevo ámbito para mantener una disuasión nuclear segura y efectiva, en una era en la que no tenemos pruebas nucleares, la ignición nos permite replicar

por primera vez ciertas condiciones que son encontrado solo en las estrellas y el sol.

La idea de la fusión nuclear se remonta a principios del siglo XX. El físico británico Arrthur Eddington fue uno de los primeros en proponer la posibilidad de que las estrellas, incluido nuestro sol, obtengan su energía a través de la fusión nuclear. En la década de 1930, el astrofísico alemán Hans Bethe, desarrolló las teorías y cálculos detallados que explican el proceso de fusión en el sol. En parte por estos trabajos fue merecedor del premio Nobel de Física en 1967.

Grosso modo la fusión nuclear es un proceso termonuclear (proceso en el cual se involucran temperaturas extremadamente altas) en el cual dos núcleos atómicos se unen para formar un núcleo más pesado, liberando una gran cantidad de energía en el proceso (reacción exotérmica). Es importante señalar que es necesario introducir un proceso de ignición al sistema, para que se produzca la fusión. A este punto es conveniente introducir una analogía, la combustión del fósforo de un cerillo al estar en contacto con el oxígeno del aire generan una reacción química exotérmica, sin embargo, la reacción no se produce espontáneamente, para producirla se necesita una energía de activación que en la analogía es la producida por el rozamiento entre el fósforo y la parte rugosa de la caja de cerillos. Una vez aportada esta energía, la reacción se autosostiene y produce energía que podemos aprovechar. Algo similar ocurre en el caso de la fusión nuclear, para lograrla se necesita un mecanismo de ignición.

La ignición en la fusión nuclear consiste en proveer a los núcleos atómicos de suficiente energía cinética de manera tal

que contrarresten la repulsión eléctrica entre ellos (recordemos que los núcleos atómicos tienen carga eléctrica positiva y que cargas del mismo tipo se repelen mutuamente), permitiéndoles acercarse significativamente (del orden de 1 fermi = 0.000000000000001m) para que la interacción nuclear fuerte se encargue de unirlos. Esto es equivalente a decir que los núcleos deben estar a temperaturas muy altas: del orden de 10 000 000 °C en el núcleo del Sol y en el NIF a 3 300 000 °C.

A tan altas temperaturas la materia se encuentra en un estado conocido como el cuarto estado de la materia, el estado de **plasma**. En muchos aspectos el plasma se comporta como un gas pero debido a que a estas temperaturas los enlaces entre electrones y núcleos de un átomo se rompen, el plasma está compuesto de iones y electrones.

Existen dos parámetros adicionales que se deben cuidar para que la fusión tenga oportunidad de iniciarse. Además de la **alta temperatura** es necesario tener una **alta densidad** de plasma durante un **tiempo suficiente** a fin de permitir que ocurran suficientes reacciones de fusión nuclear para obtener una ganancia neta de energía. El plasma al estar caliente, tiende a expandirse, así para lograr tener alta densidad es necesario tener un mecanismo de confinamiento. La combinación de los tres parámetros nos lleva al concepto de **tiempo de confinamiento**, el cual se define como el tiempo que se mantiene el plasma a una temperatura por encima de la temperatura de ignición crítica. Para producir más energía de fusión que la invertida en calentar el plasma, el medio debe ser mantenido a esta temperatura durante un período de tiempo mínimo.

Para lograr el confinamiento del plasma existen principalmente tres posibilidades: 1) Confinamiento gravitatorio. En este caso es la interacción gravitacional la que confina el plasma. Es el que se da como proceso natural en las estrellas pero no es reproducible a escala terrestre. 2) Confinamiento magnético. En este caso el plasma de baja densidad a elevadas temperaturas se mantiene confinado mediante campos magnéticos, lo cual es posible gracias a que el plasma está formado por partículas cargadas. Este tipo de confinamiento se utiliza en varios laboratorios y 3) Confinamiento inercial. En este caso una pequeña cápsula de combustible se comprime inercialmente, generalmente mediante láseres de gran potencia. Con este método se contiene el plasma durante muy poco tiempo pero a densidades extremadamente altas, lo que permite que se produzcan muchas reacciones. Este es el tipo de confinamiento utilizado en el NIF.

Específicamente el NIF logró la ignición utilizando 192 láseres gigantes que hicieron estallar una pastilla que contenía átomos de hidrógeno encerrados en diamante. En un breve instante de tiempo, que duró menos que un suspiro (100 trillonésimas de segundo) 2.05 megajules de energía bombardearon la pastilla de hidrógeno, provocando la salida de neutrones que transportaban unos 3 megajules de energía, logrando así un factor de 1.5 de ganancia energética.

JG: y lo segundo que hace, por supuesto, es que este hito nos acerca un paso significativo a la posibilidad de una energía de fusión con cero emisiones de carbono y abundante energía para nuestra sociedad. Si podemos hacer avanzar la energía de fusión, podríamos usarla para producir electricidad limpia. Industrias mucho

más, sería como agregar un taladro eléctrico a nuestra caja de herramientas para construir esta economía de energía limpia.

La demanda energética mundial ha aumentado constantemente en las últimas décadas debido a la creciente población global, la urbanización y al desarrollo industrial y tecnológico en diferentes países. La forma de generar esta energía a nivel mundial se puede agrupar en 4 grandes formas: 1) Los combustibles fósiles, los cuales generan aproximadamente el 64% de la electricidad mundial, siendo el carbón la fuente más utilizada, seguido del gas natural y luego el petróleo. 2) La energía hidroeléctrica es una de las fuentes renovables más utilizadas y representa alrededor del 16% de la generación de electricidad a nivel mundial. Sin embargo, su participación puede variar considerablemente según el país y la disponibilidad de recursos hidroeléctricos. 3) La energía nuclear, la cual representa aproximadamente el 10% de la generación de electricidad a nivel mundial. Algunos países, como Francia, dependen en gran medida de la energía nuclear para satisfacer sus necesidades energéticas, mientras que otros tienen una participación menor o han optado por eliminar gradualmente esta fuente de energía y 4) Energía renovable (excluyendo la hidroeléctrica. Las fuentes renovables, que incluyen la energía eólica, la energía solar, la energía de biomasa y la energía geotérmica, están experimentando un crecimiento significativo en todo el mundo. En conjunto, representan aproximadamente el 10% de la generación de electricidad global. Sin embargo, su participación está en constante aumento debido a los esfuerzos para fomentar la transición hacia una matriz energética más sostenible.

Es necesario tomar medidas para satisfacer la creciente demanda de energía de

manera sostenible, promoviendo la eficiencia energética, la diversificación de las fuentes de energía y el desarrollo de tecnologías más limpias y renovables. Esto es fundamental para abordar los desafíos relacionados con el cambio climático y asegurar un suministro energético seguro y sostenible para el futuro.

La fusión nuclear tiene el potencial de abordar y contribuir significativamente al problema energético mundial de varias maneras: 1) Es una fuente de energía abundante, la fusión nuclear utiliza isótopos de hidrógeno, como el deuterio y el tritio, que se encuentran en abundancia en el agua de mar y en otros recursos. Estos combustibles son prácticamente inagotables en comparación con los combustibles fósiles limitados, lo que proporciona una fuente de energía a largo plazo y reduce la dependencia de recursos agotables. 2) Posee bajas emisiones y sostenibilidad, la fusión nuclear no emite gases de efecto invernadero. No produce emisiones de dióxido de carbono (CO₂) ni otros contaminantes atmosféricos dañinos, lo que la convierte en una fuente de energía limpia y sostenible. Al no depender de combustibles fósiles, se reduce la huella ambiental y se promueve una economía baja en carbono. 3) Tiene una mejor gestión de residuos. En comparación con la fisión nuclear, la fusión nuclear produce residuos radiactivos de corta duración y en menor cantidad. Estos residuos son menos radiactivos y tienen una vida útil más corta, lo que facilita su gestión y minimiza los desafíos asociados con la gestión y el almacenamiento a largo plazo de los desechos nucleares y 4) Tiene un potencial de generación de energía masiva. La fusión nuclear tiene el potencial de generar grandes cantidades de energía en un espacio relativamente pequeño. La energía liberada por la fusión nuclear es

considerablemente mayor que la obtenida de otras fuentes de energía convencionales, como la quema de combustibles fósiles. Esto significa que la fusión nuclear podría satisfacer la creciente demanda energética mundial de manera efectiva.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la fusión nuclear todavía está en una etapa de desarrollo y enfrenta desafíos técnicos y de ingeniería significativos. La creación de un reactor de fusión comercial, económicamente viable es un objetivo complejo que requiere avances tecnológicos y una inversión continua en investigación y desarrollo. A pesar de estos desafíos, la fusión nuclear ofrece un gran potencial como una fuente de energía limpia, segura y abundante para el futuro.

JG: afortunadamente, la inversión del sector privado y la investigación de fusión ya están en auge, alcanzaron casi 3 mil millones de dólares solo el año pasado y hemos escuchado de profesores que el interés entre los estudiantes nunca ha sido tan alto, lo cual es excelente y es por eso que la administración de Biden-Harris tiene como objetivo capitalizar en este momento.

La inversión mundial en investigación en fusión nuclear ha ido aumentando en los últimos años debido al creciente interés y reconocimiento de su potencial como fuente de energía limpia y sostenible. Aunque los datos exactos pueden variar y es difícil obtener cifras precisas, existen varios proyectos y colaboraciones internacionales que han recibido inversiones significativas en investigación y desarrollo de la fusión nuclear.

Adicionalmente al desarrollo del LLNL descrito más arriba, Bill Gates cofundador de Microsoft y Samuel Altman CEO de

OpenAI, han invertido millones de dólares con el objetivo de utilizar la fusión nuclear para producir electricidad a bajo costo. Estas inversiones tomaron más fuerza luego de que el NIF lograra, una fusión nuclear con ganancia neta de energía.

Uno de los proyectos más destacados es el ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), que es un proyecto colaborativo entre 35 países. El objetivo del ITER es construir y operar un reactor de fusión experimental a escala de demostración para probar la viabilidad técnica y científica de la fusión nuclear como fuente de energía. Según los informes, el costo total del proyecto ITER se estima en alrededor de 20 mil millones de euros.

Además del ITER, varios países y organizaciones también realizan investigaciones independientes en fusión nuclear. Por ejemplo, China ha aumentado su inversión en investigación y desarrollo de fusión nuclear y está construyendo su propio dispositivo de fusión, el Reactor de Fusión Experimental Avanzado (EAST).

En cuanto a la inversión global en investigación en fusión nuclear, es difícil proporcionar una cifra exacta. Sin embargo, se estima que la inversión acumulada en investigación y desarrollo de la fusión nuclear en todo el mundo ha alcanzado varios miles de millones de dólares.

Es importante tener en cuenta que la inversión en investigación y desarrollo de la fusión nuclear varía de un país a otro y depende de los recursos disponibles, las políticas gubernamentales y las prioridades nacionales. Sin embargo, en general, la inversión en investigación en fusión nuclear ha aumentado en los últimos años debido al reconocimiento de su importancia para

abordar los desafíos energéticos y climáticos globales.

La secretaria concluyó su presentación con las siguientes palabras.

JG: El anuncio de hoy es un gran paso hacia el objetivo del presidente de lograr fusión comercial dentro de una década, pero aún queda mucho por hacer, mucho más, continuaremos trabajando hacia ese objetivo y encontraremos otras formas de progresar para alcanzar la Energía por Fusión, por ejemplo. en septiembre, el departamento de energía realizó una inversión de 50 millones de dólares para asociaciones público-privadas, para comenzar a trabajar en diseños de plantas piloto de fusión y nos estamos asociando con la oficina de políticas de ciencia y tecnología para trazar la visión audaz del presidente para impulsar esa fusión comercial en la próxima década con los más altos estándares de seguridad, con un despliegue equitativo rentable que posiciona a las empresas estadounidenses para liderar y a las comunidades para prosperar y con una fuerza laboral capacitada que es diversa e inclusiva. Gracias a la NSA (Agencia de Seguridad Nacional), a la Administración Nacional de Seguridad Nuclear y a todos los que han estado involucrados en este avance de fusión que pasará a los libros de historia.

La historia continuará

Bibliografía y recursos utilizados:

- Conferencia de prensa de la secretaria de energía de EEUU, Jennifer Granholm. Video disponible en YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=r91Q-4dAHnUw>
- Página web del Laboratorio Nacional

- Lawrence Livermore: <https://www.llnl.gov/>
- Kevin Fernández Cosials y Alfonso Barbas Espa (coordinadores del proyecto), Curso básico de fusión nuclear, Madrid, 2017.
 - ¿Es posible desarrollar otras fuentes de energía? Unos científicos apuestan por la fusión nuclear. Por Kenneth Chang, New York Times, 16 de diciembre de 2022.
 - Laboratorio Nacional Lawrence Livermore, Wikipedia.
 - La millonaria apuesta por utilizar a la fusión nuclear para producir electricidad a bajo costo. CNN Español, 12 de mayo de 2023. <https://cnnespanol.cnn.com/video/fusion-energia-nuclear-electricidad-laboratorio-nacional-lawrence-inversiones-organismo-clix/>
 - Chat GPT.