

EMULAR EL SOL EN LA TIERRA: LA BÚSQUEDA DE ENERGÍA POR FUSIÓN

Aleida Rueda

Todos los días, prácticamente cualquier persona atestigua un momento de ignición. Cuando prendemos la estufa para cocinar o el gas para bañarnos, o cada vez que encendemos una vela o el motor de un automóvil, estamos propiciando una ignición. Derivado del vocablo del latín tardío *ignire*, que puede traducirse como *quemar*, la ignición se refiere al proceso que pone en marcha una combustión o, más específico, al conjunto de condiciones físicas (temperatura y presión, sobre todo) necesarias para que un combustible comience a arder y siga prendido aun cuando la fuente de calor que la produjo se haya alejado.

En varios niveles más de complejidad, un grupo de investigadores del National Ignition Facility (NIF), un dispositivo ubicado en el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore en (LLNL, por sus siglas en inglés), California, Estados Unidos, lograron ese mismo proceso en diciembre de 2022. Básicamente, utilizaron láseres para calentar la superficie de una cápsula que contenía átomos de hidrógeno; esto provocó una ignición que hizo que sus núcleos atómicos se fusionaran y liberaran energía. Se trata de un proceso conocido como *ignición por fusión nuclear*.

Lograr la fusión en un laboratorio no es poca cosa. Si lo queremos describir poéticamente, es emular al Sol. Se dice que la fusión nuclear es imitar lo que sucede en las estrellas porque ahí ocurren las condiciones físicas

Arthur Twidle, *The flames of the sun*, en *Marvels of the Universe*, 1913. Internet Archive ©



idóneas (altísimas temperaturas, lugar confinado y una presión extrema) para que los núcleos atómicos del hidrógeno colisionen unos contra otros y se fusionen, liberando altísimas cantidades de energía en forma de radiación electromagnética. Por eso, cualquier intento de imitar las condiciones del Sol desde un laboratorio en la Tierra implica una verdadera hazaña.

Pero lo que desató la emoción de miles de personas fue que, por primera vez, la energía que se liberó en ese proceso fue sustancialmente superior a la que invirtieron en producirla. En la conferencia de prensa que anunció el avance, la noticia encendió los ánimos de la comunidad científica y de las autoridades de energía en ese país. "Esta es una de las más impresionantes hazañas científicas del siglo XXI", dijo la secretaria de Energía de Estados Unidos, Jennifer Granholm.

La ignición es un primer paso, un paso verdaderamente monumental que sienta las bases para una década de transformación en el campo de la energía de fusión, una década transformadora en la ciencia de la alta densidad energética y la investigación de la fusión,

dijo Kim Budil, directora del LLNL. Otros, como el senador estadounidense Charles Schumer, fueron más allá:

Este asombroso avance científico nos sitúa en el precipicio de un futuro que ya no dependerá de los combustibles fósiles, sino que estará impulsado por una nueva energía de fusión limpia.

La causa de su emoción tiene muchas caras. La más obvia es que es una muestra del liderazgo de Estados Unidos en la energía por fu-

sión. Hay que decir que ese país invierte dinero en este laboratorio no con el objetivo principal de generar energía limpia, sino con el de garantizar la seguridad nacional y la confiabilidad de las armas nucleares. Por lo tanto, este logro, tal como lo dijo Budil, "hace avanzar nuestras capacidades para nuestras misiones de seguridad nacional".

Otro motivo de regocijo es la promesa que significa para el futuro energético. Las previsiones sobre la fusión muestran que esta fuente podría satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad durante millones de años, cosa que se antoja posible y deseable debido a los preocupantes efectos que ha traído la quema de combustibles fósiles. Pero hay otra razón, de tipo científico, relacionada con todo lo que tuvo que suceder para que esa ignición por fusión sucediera.

LO QUE HUBO DETRÁS DE LA FUSIÓN

A diferencia de la fisión, en la que los núcleos de mayor masa atómica se rompen, en la fusión los núcleos de menor masa atómica se unen y, con ello, liberan energía. Generalmente, los ingredientes que se utilizan en la fusión son dos isótopos del hidrógeno: el tritio (hidrógeno-3) y el deuterio (hidrógeno-2). Se dice que la fusión puede ser una fuente inagotable de energía porque estos isótopos son relativamente fáciles de conseguir: el deuterio se encuentra en el agua del mar y el tritio se puede obtener en el laboratorio a través de reacciones entre neutrones y litio.

Pero tener los núcleos del tritio y el deuterio es solo el inicio. Lo importante es hacerlos fusionar a través de una enorme cantidad de calor y presión. Esto solo puede suceder si los núcleos se acercan lo suficiente para superar la repulsión electrostática que los mantiene

Hay varios criterios a tomar en cuenta antes de gritar a los cuatro vientos que la ignición por fusión nos salvará de la debacle energética.

separados y se activa una fuerza nuclear fuerte que los haga fusionarse. José Julio Herrera, investigador del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, explica:

Para que puedan vencer la repulsión electrostática, este combustible de tritio y deuterio debe someterse a temperaturas muy altas, de tal modo que se forme un plasma. En ese plasma, los electrones quedan disociados de los núcleos y lo que se tiene es un gas de electrones y iones positivos

De nuevo, lograr ese plasma es solo una parte del desafío. La otra consiste en confinarlo, controlarlo y propiciar que tenga las condiciones idóneas para que la energía generada por el choque entre los núcleos de deuterio y tritio se mantenga durante el mayor tiempo posible.

Por lo tanto —dice Herrera—, es necesario que este plasma cumpla con condiciones de densidad, temperatura y confinamiento de la energía suficientemente altas para que se pueda tener más energía que la que se está invirtiendo.

De ahí que una gran parte del éxito de este experimento depende del método de confinamiento. El lugar donde se confina importa, porque si el plasma está en contacto con la pared o si hay impurezas, va a perder energía, y eso es justo lo que se tiene que evitar. Los dos métodos más usados son la Fusión por Confinamiento Magnético (FCM), que utiliza campos magnéticos, y la Fusión por Confinamiento Inercial (FCI), que fue el utilizado por el NIF. La idea básica del FCI es usar láseres sobre una

esfera de deuterio y tritio para que esta implosione (o se comprima) y genere un medio tan denso que las partículas no tengan casi ninguna posibilidad de escapar sin chocar entre sí.

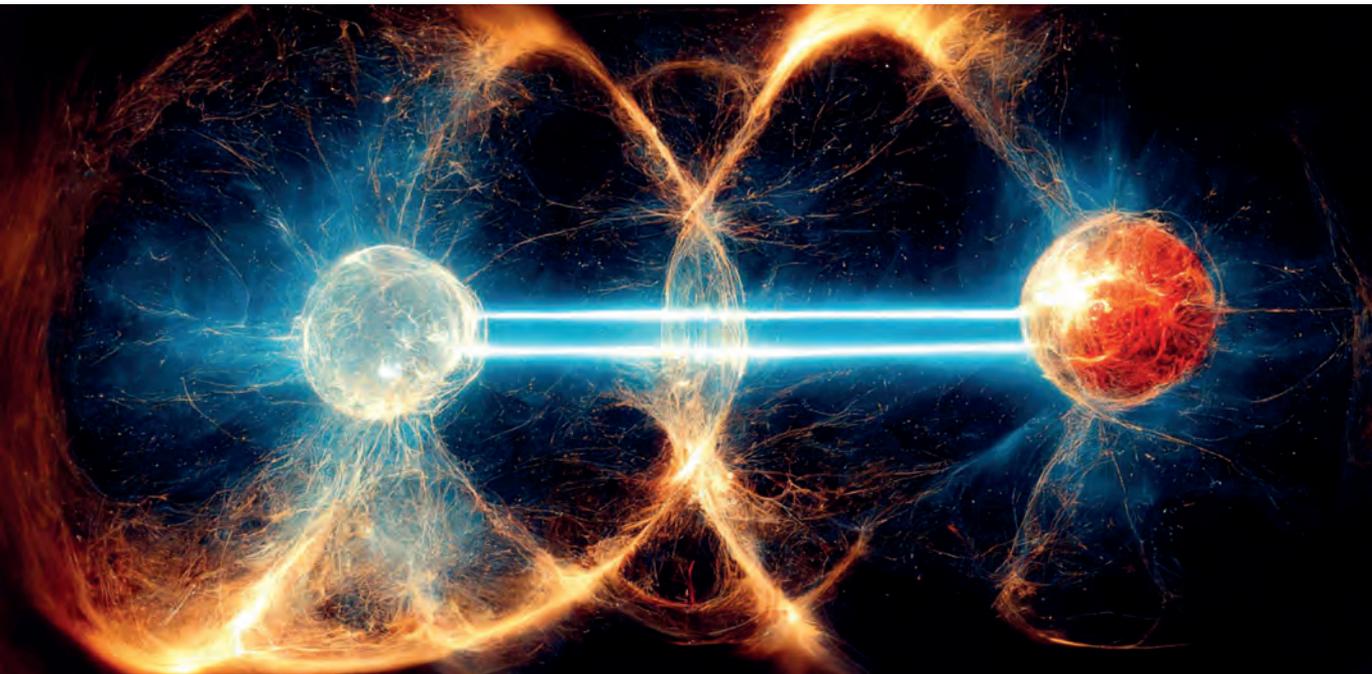
Entonces, en el experimento de diciembre de 2022, los investigadores introdujeron el deuterio y el tritio dentro de una cápsula de 2 milímetros de diámetro, hecha de diamante sintético; luego, la colocaron en el interior de la cavidad del reactor y le aplicaron un pulso de energía generado por 192 láseres. Los láseres produjeron rayos X y estos sublimaron la superficie de la cápsula hasta hacerla implosionar.

Los láseres —explica Herrera— calentaron la superficie de la cápsula, y esta se desprendió en todas direcciones. Entonces se produjo una implosión con la densidad y la temperatura suficientes para que ocurrieran las reacciones del deuterio y el tritio, y ambos se fusionaran.

En este caso, la energía de esos 192 láseres fue de 2,05 megajoules (MJ) y la que consiguieron tras la fusión fue de 3,15 MJ; es decir, 35 por ciento más, lo que representa una mayor eficiencia. Si vemos únicamente esos números, es posible concluir que por primera vez consiguieron más energía que la que invirtieron en un proceso de FCI. Es, claramente, una hazaña, pero esa es apenas la mitad de la historia.

EL DESAFÍO: MEJORAR LÁSERES Y OBJETIVOS

Hay varios criterios a tomar en cuenta antes de gritar a los cuatro vientos que la ignición por fusión nos salvará de la debacle energética. Para empezar, la cantidad de energía que se utilizó para hacer funcionar esos 192 láse-



Representación de la fusión nuclear ©

res fue mucho mayor que los 2,05 MJ de su pulso. En realidad, se necesitaron más de 300 MJ para llevar a cabo el experimento, y si comparamos esa cantidad de energía con la que se obtuvo, está claro que la energía generada está muy por debajo de la que se invirtió. Esto significa que, a pesar de su gran potencia, los láseres del NIF son ineficientes. Por eso, uno de los retos es conseguir láseres que permitan convertir la energía de la red eléctrica en una mayor cantidad de energía de láser.

Otra cosa que no suele mencionarse es que el NIF está en condiciones de hacer solo uno o dos disparos de láser por día porque toma mucho tiempo cargar los capacitores necesarios para encender los 192 láseres, esperar a que estos se enfríen y tener nuevos blancos (deuterio y tritio). Para que la fusión sea una realidad, dice Julio Herrera,

se necesita no solo tener láseres más eficientes, sino láseres que puedan disparar varios pulsos por segundo. Además, se necesita tener blancos

que sean más baratos, pues cada uno cuesta cerca de 10 mil dólares.

El NIF se empezó a construir en 2009 y se esperaba que la ignición por fusión sucediera desde 2010, es decir, los científicos llevaban más de diez años de retraso. Por eso este logro legitima al experimento y, muy posiblemente, motive un mayor financiamiento para los reactores de fusión en Estados Unidos y otros países.

Sí, es un buen momento para la fusión. El logro del NIF mostró que emular al Sol desde un laboratorio es posible. Pero hay que mantener la calma. Hacer de la FCI una verdadera fuente de energía limpia para el mundo está más cerca de la ficción que de la vida real. Por otra parte, hay varios proyectos de confinamiento magnético que, aunque no han demostrado la ignición, prometen presentar plantas piloto dentro de los próximos quince a veinte años. Habrá que esperar para ver si el sueño de la energía por fusión se hace realidad. **U**