



## Fusión nuclear, promesa energética por cumplirse

Se ha desatado una competencia frenética por generar el primer kilowatt-hora comercial proveniente de energía de fusión nuclear, una tecnología que ha pasado décadas en el reino de la teoría, la hipótesis y promesas siempre rotas. Hasta ahora, se afirmaba que la energía de fusión estaría disponible en 10 años, ¡cada 10 años! Si bien han existido diversos reactores experimentales en institutos públicos de investigación, sólo el ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) en Bouches-du-Rhône, Francia, en construcción, ofrecía un horizonte de pocos lustros para demostrar que es posible obtener más energía de la que se alimenta un reactor de fusión. Ahora la fusión nuclear va emergiendo como una opción real de energía infinita, limpia, sin emisiones de CO<sub>2</sub>, y a costo razonable, gracias a la increíble capacidad intelectual y emprendedora de numerosos científicos, ingenieros, empresarios, gobiernos, e inversionistas, que han comprometido muchos miles de millones de dólares. Desde China y Alemania, hasta Francia, Italia, Reino Unido, Corea del Sur y los Estados Unidos, más de media centena de empresas desarrollan velozmente sus prototipos, que esperan ver la luz comercialmente en la próxima década. El principio físico de la fusión nuclear es conocido desde la

primera mitad del siglo XX. Sin embargo, los problemas tecnológicos y de ingeniería habían sido insuperables. Hoy se están resolviendo. Genéricamente, la fusión nuclear ocurre cuando dos núcleos de isótopos de Hidrógeno, el Deuterio (un protón y un neutrón) y el Tritio (un protón y dos neutrones) se fusionan para formar Helio (dos protones y dos neutrones). Se aprovecha la energía formidable del neutrón sobrante que impacta la pared de un tubo con agua, misma que se calienta en forma de vapor a altísimas temperaturas y presiones, y se inyecta a una turbina para generar electricidad. El Deuterio está ampliamente disponible en el planeta, sobre todo disuelto en el agua de mar. El Tritio se puede manufacturar en las instalaciones mismas del reactor de fusión.

La fusión es lo contrario de la conocida fisión nuclear, sólo que no hay materiales ni desechos radiactivos significativos. Tampoco hay riesgo alguno de explosión o accidente. La fusión nuclear es exactamente el mismo proceso que alimenta al Sol, y, poéticamente, significa traer y aprovechar en la tierra la energía de las estrellas. Las empresas involucradas en esta competencia histórica incluyen a Renaissance Fusion, Marvel Fusion, Pacific Fusion, East, Type One Energy, Próxima Fusion, Gauss, Focused Energy, Helion Energy, Commonwealth Fusion Systems,

etcétera, todas representadas por la Fusion Industry Association, y muchas, en alianza con sus gobiernos. Todas esperan los primeros kilowatts-hora comerciales antes de 2035 o de 2040. De hecho, ya se han firmado contratos de abastecimiento de energía con grandes suministradores como la italiana ENI y la Tennessee Valley Authority.

La fusión nuclear artificial requiere de temperaturas increíbles de casi 150 millones de grados centígrados (varias veces la temperatura que hay en el centro del Sol), a través de dos alternativas tecnológicas principales. La primera conlleva un reactor en forma de "dona" llamado Tokamak, en cuyo interior se confina magnéticamente una sopa o plasma de Tritio y Deuterio, sin tocar las paredes del reactor, durante un tiempo suficiente para lograr la fusión. Esta es la tecnología del proyecto ITER que se construye en Francia. Espera ofrecer una potencia de 500 Megawatts, a partir de 50 Megawatts de energía alimentada al reactor. La segunda son los llamados Stellarators, reactores esféricos o cilíndricos con el plasma confinado magnéticamente en el centro en forma de bola, mismo que se comprime con lasers ultrapotentes para alcanzar la fusión. La desarrollan la National Ignition Facility del Lawrence Livermore Laboratory en los Estados Unidos, y el proyecto Megajoule en Bordeaux,

Francia. Una prometedora y sorprendente tecnología a partir de la fusión nuclear es la generación de electricidad directamente por inducción magnética, y no, a través de la conversión de energía térmica en electricidad en una turbina de vapor. En el caso de la inducción magnética directa, variaciones del campo magnético del plasma (o sopa de Tritio y Deuterio) inducen una corriente eléctrica en bobinas externas, como un gigantesco dinamo, sin necesidad de turbina. Los detalles de ingeniería son aún confidenciales. Un desafío tecnológico fundamental es que el confinamiento magnético del plasma a millones de grados centígrados requiere de cables superconductores, que puedan perder toda resistencia eléctrica aún a altas temperaturas. También se ensaya con cerámicas superconductoras pero a temperaturas extremadamente bajas. A pesar de las endiabladas dificultades técnicas y de ingeniería, hay un gran optimismo en las empresas y en sus inversionistas, dado que reactores prototipos o experimentales ya han llegado a generar más energía de la que consumen. La energía de fusión, una vez disponible comercialmente, será uno de los más grandes productos de la ciencia y la tecnología modernas acopladas a la economía de mercado, a la innovación, y a la inversión privada aliada con gobiernos visionarios.