

La fusión: un mito útil para la supervivencia del modelo

ANTONIO ESTEVAN²

Edición a cargo de

SUSANA SIMÓN y MARIANO VÁZQUEZ
Madrid (España), 1993 (2010).¹

Para abordar el problema de la energía de fusión es interesante adoptar inicialmente un punto de vista propio de la política tecnológica. Porque al fin y al cabo la energía de fusión es un proyecto de desarrollo tecnológico, esto es, un proyecto que tiene como finalidad la construcción de un determinado artefacto de concepción enteramente nueva, destinado a la explotación comercial.

No se trata de realizar un ejercicio académico de evaluación de proyectos de investigación y desarrollo (I+D) aplicado a la fusión, porque al margen de la utilidad más que discutible de este tipo de ejercicios, los datos necesarios para hacerlo son inaccesibles, y probablemente ni siquiera existen. Pero sí es posible aplicar a la energía de fusión los conceptos y criterios generales que se utilizan en la valoración de la viabilidad de esta clase de proyectos.

Para que un proyecto de desarrollo tecnológico pueda considerarse viable debe cumplir al menos tres requisitos imprescindibles:

- Debe ser *predictible*, esto es, debe permitir el establecimiento de un calendario de ejecución con unos márgenes de variación suficientemente acotados.
- Debe mostrar ciertas expectativas de rentabilidad.
- No deben existir proyectos alternativos conocidos que ofrezcan *a priori* expectativas superiores.

Conviene empezar, por consiguiente, por la cuestión del calendario, esto es, del tiempo. La consideración de la variable tiempo es crítica en los proyectos de desarrollo tecnológico, y es, por eso mismo, la herramienta más apropiada para demoler el mito de la energía de fusión. Porque situando el problema de la fusión sobre la flecha del tiempo, se aprecia de inmediato hasta qué punto el debate sobre esta fuente de energía es una discusión falsificada e inútil.

El origen militar de la energía de fusión

La pequeña historia de la energía de fusión tiene sus raíces originarias en el terreno militar. Durante los trabajos de desarrollo de la primera bomba atómica, que se llevaron a cabo, como es sabido, en el centro de investigación de Los Álamos durante la Segunda Guerra Mundial, algunos científicos comenzaron a especular y a realizar pequeños estudios acerca de la posibilidad de construir una bomba nuclear de fusión.

Después de 1945, los movimientos en favor del control internacional de las armas atómicas, en los que participaron algunos de los más relevantes científicos del equipo de Los Álamos, ralentizaron en cierto grado las investigaciones nucleares, hasta que la explosión de la bomba atómica soviética en octubre de 1949 supuso el comienzo oficial de la Guerra Fría.

A partir de ese momento, las presiones militares en favor de la construcción de la *superbomba* o *bomba H* se fueron imponiendo rápidamente, pese a la opinión en contra de numerosos científicos atómicos ‘arrepentidos’, como el propio OPPENHEIMER, padre de la bomba atómica³. En enero de 1951, TRUMAN dio la orden de realizar el programa de investigaciones y explosiones necesarias para el desarrollo de la bomba H, de cuyo principio tecnológico se derivaría más tarde el reactor nuclear de fusión.

²1948–2008, Ingeniero Industrial.

¹N. de E.: Primera edición en AEDENAT (1993) *Energía para el mañana. Conferencia sobre energía y equidad en un mundo sostenible*, Madrid: Los Libros de la Catarata, pp. 171–185. Para esta segunda edición se han tenido en cuenta las correcciones a mano hechas por el autor en un ejemplar de la edición original encontrado en su biblioteca en 2010. Todas las notas que siguen son de esta edición y pretenden aclarar el sentido del texto en 1993 o, por el contrario, actualizar algunos hechos al día de la fecha.

³N. de E.: En los últimos días de octubre de 1949 el General Advisory Committee (GAC) publicó un informe sobre las recomendaciones para el desarrollo de la bomba H. En él se incluyó un apéndice escrito por JAMES B. CONANT —Presidente de la *Harvard University*— y firmado por OPPENHEIMER —por entonces Presidente de la Atomic Energy Commission (AEC)— en el que se decía en parte «We believe a super bomb should never be produced. . . In determining not to proceed to develop the super bomb, we see a unique opportunity of providing by example some limitations on the totality of war and thus of limiting the fear and arousing the hopes of mankind». General Advisory Committee’s Majority and Minority Reports on Building the H-Bomb

Como había ocurrido pocos años antes con la bomba atómica, la comunidad científica y el estamento militar comenzaron de inmediato a difundir las grandes posibilidades que brindaba el uso pacífico de la energía de fusión nuclear, intentando convencer a la población de que en un horizonte relativamente próximo lo que ahora era un arma terriblemente destructiva iba a convertirse en una nueva e inagotable fuente de energía, mejor todavía que la energía nuclear de fisión.

Así, a finales de los años cincuenta la *Rand Corporation* realizó un estudio de prospectiva tecnológica que luego se haría famoso por ser el primero en el que se utilizó el llamado *método Delphi* de consulta organizada a expertos sobre el futuro del desarrollo tecnológico. El estudio estaba orientado principalmente hacia el futuro de la tecnología militar, pero también se incluían algunas aplicaciones tecnológicas civiles derivadas de tecnologías militares.

En particular, se preguntaba a los más reputados especialistas del momento acerca de la fecha en que estimaban que estaría disponible la energía de fusión. Los expertos señalaron fechas comprendidas entre los años 1978 y 2000, con el año 1985 como media. En otros términos, los expertos de los años cincuenta estimaban que existía un 50 % de probabilidades de que la fusión tuviese desarrollo comercial en 1985⁴.

Desde entonces, periódicamente se han ido realizando nuevas previsiones que han ido ofreciendo fechas cada vez más tardías, pero siempre cuidadosamente situadas dentro de las expectativas de vida de la generación adulta del momento. Así, por ejemplo, hace menos de dos años, uno de los más acreditados gurús de los cambios sociales y tecnológicos en España —MANUEL CASTELLS— declaraba en Madrid que «existe un 50 % de probabilidades de que en los próximos veinte años exista desarrollo comercial de la estructura de fusión»⁵. A buen seguro que, dada la estructura de la cita, se basaba en algunos de los estudios Delphi realizados en los últimos años en relación con esta cuestión.

⁴N. de E.: El autor se refiere a BRODIE BERNAND (1959) *Strategy in the Missile Age*. Rand Corporation. Disponible en http://www.rand.org/pubs/commercial_books/CB137-1/

⁵N. de E.: El plazo de veinte años sigue vigente:

From www.scientificamerican.com

12 acontecimientos que cambiarían todo

Energía de fusión

Resolvería numerosos rompecabezas ecológicos pero sigue resultando difícil de lograr

Probabilidad de que el suceso haya ocurrido en 2050: **Muy Improbable**

Según un viejo chiste, un reactor de fusión operativo **siempre estará listo** [el subrayado es nuestro] dentro de unos veinte años. Sin embargo, hoy en día tal pronóstico suena demasiado optimista. [...] El reactor ITER, en el sur de Francia, no comenzará a realizar experimentos antes de 2026. Una vez concluido, habrá que esperar un mínimo de diez años de pruebas antes de diseñar la siguiente fase del proyecto, un prototipo experimental que pudiera extraer energía utilizable a partir de la fusión de un plasma confinado en una botella magnética. Y aún habría que aguardar otra generación más antes de construir un reactor capacitado para suministrar energía a la red eléctrica.

[...]

En teoría, un reactor de fusión resolvería los problemas energéticos de la humanidad. El combustible sería deuterio, un isótopo del hidrógeno presente en el agua del mar. No produciría emisiones dañinas, residuos nucleares, ni gases de efecto invernadero [siempre y cuando no se contabilicen los residuos de todo tipo durante la fase de construcción y rehabilitación de la propia central. El cálculo de las emisiones contaminantes producidas desde los primeros experimentos en los cincuenta está por hacer, pero se trata de un cargo que **tendrá que ser amortizado** por la primera central de fusión comercial, si es que llega a existir alguna vez].

[...]

En la práctica, sin embargo, no parece verosímil que la fusión nuclear cambie el mundo del modo en que los expertos esperaban. La tecnología necesaria para la ignición y el control de una fusión autónoma se muestra demasiado escurridiza. Además, el coste de los primeros reactores será probablemente tan elevado que no los veremos proliferar en este siglo.

[EDWARD] MOSES y otros científicos opinan que la vía más rápida para explotar la energía de fusión habrá de basarse en una técnica híbrida; a saber, emplear las reacciones de fusión para acelerar los procesos de fisión de los residuos nucleares. El método [se ha] bautizado con el nombre de LIFE (del inglés para «energía de fusión inercial por láser»). [...] MOSES afirma que podría tener terminado un prototipo experimental para un reactor LIFE hacia 2020 y que, en torno a 2030, debería estar listo para ser conectado a la red eléctrica.

En otras palabras, dispondremos de un reactor de fusión operativo dentro de unos **veinte años** [el subrayado es nuestro].

La tecnología de fusión desde la perspectiva actual

Aunque el campo de la investigación en materia de fusión ha sido siempre notoriamente opaco, la atención informativa que ha venido despertando la energía de fusión con ocasión de los últimos experimentos realizados con el reactor JET en el Reino Unido ha permitido conocer el verdadero estado actual de esta tecnología.

Hace poco más de un año, CAYETANO LÓPEZ, catedrático de Física y rector de la *Universidad Autónoma de Madrid*, explicaba en un detallado artículo en el número 9 de la revista *Claves* la situación actual y las perspectivas en materia de investigación para el uso comercial de la energía de fusión.

Tras una cuidadosa explicación de los progresos realizados y previstos, este calificado autor, que es un destacado representante de la comunidad científica que trabaja en el campo de la fusión, concluye:

... podría disponerse de una planta experimental de fusión que generase electricidad en condiciones próximas a las de una planta comercial hacia el año 2025–2030, y de un prototipo de reactor explotable entre diez y veinte años más tarde. Todo ello suponiendo que se disponga de la financiación necesaria, que requerirá de incrementos temporales importantes coincidiendo con las fases de construcción de los nuevos dispositivos. Y no es posible reducir significativamente los plazos, ya que éstos vienen impuestos por la naturaleza secuencial de los procesos de diseño, construcción y operación de un dispositivo intermedio, con objeto de extraer conocimientos nuevos a incorporar en el diseño y la construcción del sucesivo.

CAYETANO LÓPEZ, 1991

Dadas las características de la industria eléctrica, entre la disponibilidad de un primer prototipo mundial de reactor explotable y la creación de una verdadera industria termonuclear, con profusión de plantas en todos los países fuertemente consumidores, han de transcurrir inevitablemente varias décadas. En consecuencia, desde la perspectiva actual parece evidente que no existe ninguna posibilidad de que esta clase de energía se constituya como un verdadero pilar del suministro energético antes del último tercio del siglo XXI.

Se puede tomar, por consiguiente, como referencia más temprana la década de los setenta del próximo siglo, en relación con el momento en el que la energía de fusión puede llegar a ser una fuente energética significativa. Esta es la hipótesis más optimista, que excluye la posibilidad de que aparezcan nuevos problemas que en su día dejen a las predicciones actuales —incluso a las técnicamente solventes, sin considerar las elucubraciones de los gurús— en la posición de las que emitieron en su día los expertos de la *Rand Corporation*.

La realidad es que, a tenor de lo que ha venido ocurriendo hasta ahora, no parece muy probable que la energía de fusión tenga una travesía tecnológica así de tranquila a lo largo del tiempo. Como reconoce CAYETANO LÓPEZ, la investigación en ciertos campos críticos de la tecnología de fusión, incluyendo uno tan central como es la producción de tritio dentro del reactor para autosostener la reacción de fusión, está prácticamente por empezar. Nadie sabe los problemas que pueden surgir en éste y en otros aspectos fundamentales cuando comience a abordarse seriamente su resolución. Una apuesta mucho más segura, para un ser de dilatada vida que estuviera en condiciones de realizarla, sería la de considerar la energía de fusión como una fuente energética propia del siglo XXII.

La energía de fusión en su propio contexto histórico

La discusión de las ventajas e inconvenientes de una fuente de energía carece totalmente de sentido fuera del contexto económico, social, ecológico y tecnológico en el que se produce su aplicación. Cada sociedad, en cada momento, dirigida por los grupos o clases dominantes en esa etapa, recurre al uso de la forma de energía que mejor se adapta a los objetivos y a los modelos sociales establecidos. A su vez, la disponibilidad de fuentes de energía adecuadas a tales fines refuerza y retroalimenta la viabilidad de ese modelo social.

Para analizar racionalmente el problema de la fusión, hay que dar, por consiguiente, un nuevo salto en la flecha del tiempo, esta vez hacia adelante, situándose mentalmente en un año tal como 2072, a ocho décadas de distancia hacia el futuro, y que puede considerarse como representativo de las hipótesis más optimistas para una verdadera difusión comercial de la energía de fusión.

¿Quién puede, desde la perspectiva actual, aventurar cualquier tipo de pronóstico acerca de las características de la sociedad en esa fecha? ¿Cómo serán el sistema político, la estructura social, los conocimientos científicos y tecnológicos, la estructura económica y productiva, la percepción del problema ecológico, y otras cuestiones y problemas primordiales que ahora no podemos ni imaginar, pero que son los que conjuntamente describen un modelo de sociedad?

Obviamente, la sociedad necesitará disponer de energía. Pero, nadie sabe nada acerca de qué clase de energía, cuánta, dónde, con qué estructura de distribución y para qué finalidades o usos. El problema de la energía de fusión, situado en su propio contexto temporal, se sale totalmente de cualquier horizonte de análisis racional. No es posible abordar la discusión de un problema —la idoneidad de la energía de fusión como alternativa energética en un momento histórico determinado— cuyos elementos esenciales son imposibles de conocer por definición.

Esta conclusión parece obvia, pero para hacerla aún más evidente puede ser útil dar un nuevo salto en la flecha del tiempo, y buscar en la historia alguna clase de analogía ilustrativa. Situándose mentalmente en 1912, esto es, ochenta años atrás en relación con el momento actual, se comprueba hasta qué punto es insensato elaborar cualquier tipo de análisis socioeconómico o tecnológico de tipo prospectivo en tales horizontes de tiempo.

Desde el punto de vista político, en 1912 no existían como entidades independientes buena parte de los países actuales. No se había producido la Revolución de Octubre, ni la experiencia del socialismo real, ni la salida del colonialismo y su transformación en dominación Norte-Sur... Desde el punto de vista social y cultural, no existía la sociedad de consumo de masas, ni la noción del problema ecológico, ni la mayor parte de los conceptos y conflictos que configuran la estructura social actual en la mayor parte de los países del mundo.

Desde el punto de vista científico y tecnológico, hacía sólo siete años que EINSTEIN había publicado el primer artículo sobre la relatividad⁶, no se había oído hablar todavía de la mecánica cuántica, no existía la física de estado sólido que daría lugar más tarde a la electrónica... La química orgánica estaba en mantillas, y faltaba casi medio siglo para que empezase el desarrollo de la informática. Y, por supuesto, no se tenía ni la más mínima noción de la posibilidad de obtener energía a partir de procesos atómicos.

La electricidad, que es en definitiva el producto del que se está hablando cuando se alude a la energía de fusión, era definida, no ya en 1912, sino todavía en la edición de 1932 de la *Enciclopedia Espasa*, como un «agente muy poderoso, que se manifiesta por atracciones y repulsiones, por chispas y penachos luminosos, por las conmociones que ocasiona en el organismo animal, y por las descomposiciones químicas que produce». Por supuesto, es inútil intentar buscar en esa enciclopedia la definición de términos tales como electrónica o ecología.

¿Qué sentido podía tener en 1912, más allá de la pura elucubración o la ficción literaria, razonar con los criterios y conocimientos de la época acerca de las soluciones más adecuadas para satisfacer las necesidades energéticas o de cualquier otra clase que se pudieran derivar de la organización económica y tecnológica predominante a finales del siglo? Ninguno. El mismo que puede tener hacerlo ahora en relación con el año 2072.⁷

⁶N. de E.: En 1905 EINSTEIN publicó su tesis titulada *Una nueva determinación de las dimensiones moleculares* y escribió cuatro artículos publicados en *Annalen der Physik*, conocidos generalmente como los artículos del *Annus Mirabilis*. En ellos se explicaba el efecto fotoeléctrico, el movimiento browniano, la relatividad especial y la equivalencia masa-energía.

EINSTEIN, ALBERT (1905a) «Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt» *Annalen der Physik*, número 17: pp. 132–148. Un punto de vista heurístico sobre la producción y transformación de la luz.

EINSTEIN, ALBERT (1905b) *Eine neue Bestimmung der molekulare Dimensionen*. PhD thesis. Una nueva determinación de las dimensiones moleculares.

EINSTEIN, ALBERT (1905c) «Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen» *Annalen der Physik*, número 17: 549–560. Sobre el movimiento requerido por la teoría cinética molecular del calor de pequeñas partículas suspendidas en un líquido estacionario.

EINSTEIN, ALBERT (1905d) «Zur Elektrodynamik bewegter Körper» *Annalen der Physik*, número 17: 891–921. Sobre la electrodinámica de cuerpos en movimiento.

EINSTEIN, ALBERT (1905e) «Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig» *Annalen der Physik*, número 18: 639–641. ¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido de energía?

⁷N. de E.: El impacto de la electrificación en la sociedad de consumo actual está directamente relacionado con la utilización doméstica de la electricidad en los electrodomésticos, hecho difícil de prever por aquella época, cuando empezaban a surgir las primeras aplicaciones económicas de la electricidad. Sin embargo, no hay que olvidar la capacidad de JULIO VERNE de adelantar acontecimientos; ya en 1866 —trece años antes de la invención de la lámpara incandescente— escribió:

Existe un agente poderoso, sumiso, rápido, fácil, que se presta a todo uso y reina como amo a bordo de mi nave. Todo se hace por medio de él. Me ilumina, me provee de calor, es el alma de mis aparatos mecánicos. Ese agente es la electricidad. (...)

—Capitán, ha hallado usted, evidentemente, lo que los hombres encontrarán sin duda un día, la verdadera potencia dinámica de la electricidad.

Cuando se está debatiendo un problema del presente o de un futuro pronosticable, como es el problema energético actual, nadie está autorizado a salirse del marco de referencia político, económico y tecnológico propio de su época, para especular con elementos propios de futuros remotos y totalmente imprevisibles. Y menos legítimo aún es cualquier intento de ofrecer las propias especulaciones acerca de futuros lejanos como solución a los problemas reales o previsibles que se están discutiendo en el presente. Esto es exactamente lo que se viene haciendo desde que, hace medio siglo, nació la energía de fusión en un laboratorio militar.

El único debate racional posible sobre la energía de fusión terminaría aquí, con una consecuencia evidente: desde el punto de vista de la política económica y tecnológica, la única opción racional es la de cancelar las inversiones en energía de fusión. Porque se trata de una tecnología cuyo desarrollo y cuyo uso no es *predictible* ni planificable desde la perspectiva actual. Y en términos específicos, por una larga serie de razones que examinaré a continuación.

La viabilidad económica de la energía de fusión

Dado el plazo que hay que esperar para comenzar a obtener energía a partir de la fusión, es fácil demostrar —en términos económico-financieros convencionales— que nunca se podrá recuperar el valor de las inversiones acumuladas en I+D. Puede ser interesante realizar algunos ejercicios de cálculo financiero elemental, puramente especulativos, pero ilustrativos de las absurdas coordenadas económicas en que se mueve el tema de la fusión.

El gasto anual previsto para investigación en fusión en el tercer programa marco de la Comunidad Europea (CE) es de 120 millones de *ecus*⁸. Capitalizando sólo un flujo de inversión como éste entre 1990 y 2050 al 8% de interés, se obtiene un valor final de 150.000 millones de *ecus*. Una capitalización al 8% de las inversiones mundiales (que se estiman en unos 1.000 millones de dólares anuales), desde que se iniciaron las investigaciones a finales de los años cincuenta, hasta mediados del próximo siglo, llevaría las cuentas de inversiones en I+D hacia un orden de más de 6 billones de dólares de 1992 (trillones en notación anglosajona) antes de que la fusión comenzase a rendir beneficios económicos, y ello en la mejor de las hipótesis de calendario posibles.

La amortización de una cuenta de esta magnitud, equivalente al coste actual de construcción de dos mil centrales nucleares de fisión de 1 gigavatio, resultaría imposible en la práctica, por reducida que fuera la tasa de descuento que se aplicase a los beneficios futuros de la explotación de los nuevos reactores de fusión.

La facilidad con la que se llega, considerando plazos de tiempo muy largos, a este tipo de absurdos o imposibilidades financieras, ilustra las razones por las que en el campo tecnológico o industrial jamás se abordan proyectos cuyos plazos de maduración excedan de los horizontes máximos *predictibles*, que rara vez sobrepasan las dos décadas. La fusión es, en ese sentido, una excepción incompresible.

La existencia de alternativas mucho más eficientes

Existen otros recursos energéticos —ya sean renovables o no renovables, alternativos o convencionales— en los cuales las inversiones en tecnología ofrecerían rendimientos muy superiores con plazos incomparablemente más cortos.

Si, a pesar de su evidente irracionalidad económica, los poderes públicos de los países desarrollados mantienen su propósito de desarrollar la energía de fusión, sería más eficiente congelar actualmente las inversiones, y esperar varias décadas hasta que se desarrollen por su propio camino diversas tecnologías críticas, como las de los materiales superconductores, o nuevas teorías y conocimientos científicos aplicables, que hoy todavía no se vislumbran. De este modo se llegaría en su día prácticamente al mismo punto, pero con un coste acumulado incomparablemente inferior. Y en el largo trecho intermedio se liberarían recursos para el desarrollo de fuentes de energía útiles en cada momento.

La solución es la cancelación

Por estas y otras muchas razones, sólo hay una opción racional en relación con la energía de fusión: la de congelar de inmediato las inversiones, y particularmente la construcción del nuevo reactor experimental International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), y esperar un mínimo de 25 a 30 años para reevaluar el entorno tecnológico y el panorama energético, tomando nuevas decisiones más fundamentadas⁹.

⁸N. de E.: En la actualidad, el presupuesto destinado a la investigación en energía nuclear en el séptimo programa marco de la *Comunidad Europea* es de 1.947 millones de euros, lo que lleva a un presupuesto anual aproximado de 480 millones de euros. Datos disponibles en http://cordis.europa.eu/fp7/euratom/home_en.html.

⁹N. de E.: Finalmente el proyecto se ha puesto en marcha en la localidad francesa de Cadarache tras la firma de un acuerdo internacional suscrito en París en 2006 entre la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) y otros seis

Cuanto más tiempo se tarde en tomar esta decisión, más pérdidas económicas y ecológicas se seguirán acumulando. De hecho, el abandono de proyectos tecnológicos en diferentes etapas de su desarrollo, cuando se comprueba que no van a conducir a los resultados esperados, está a la orden del día, incluso en casos en los que se han invertido miles de millones de dólares.

Un ejercicio de ciencia ficción: ventajas e inconvenientes de la energía de fusión

En los apartados anteriores se ha intentado poner de manifiesto la imposibilidad de discutir acerca de la idoneidad de la fusión en términos racionales, esto es, situando su utilización en su propio marco de referencia socioeconómico y tecnológico. Por consiguiente, si a pesar de todo se desea, por razones políticas, estéticas, o simplemente dialécticas, entablar algún tipo de discusión acerca de las ventajas e inconvenientes técnicos de esta fuente de energía, el debate ha de transcurrir necesariamente en el plano de la ficción.

Con la libertad intelectual que otorga la ficción, se puede idear una situación puramente imaginaria, en la que la energía de fusión estuviese disponible en un plazo inmediato, de pocos años o lustros, para su utilización comercial. Los participantes en un debate apoyado sobre estas premisas podrían plantearse la cuestión de si, en esa situación hipotética, tendría sentido iniciar la construcción de centrales nucleares de fusión. Los partidarios de la construcción defenderían la idea de que la energía de fusión es una energía limpia, inagotable y barata, y sus oponentes asegurarían, lógicamente, lo contrario.

En relación con el primer punto, los defensores de la limpieza del sistema difícilmente podrían aportar evidencias concluyentes. De hecho, la CE sigue encargando regularmente estudios acerca de la seguridad ambiental de la tecnología de fusión, que dista mucho de estar garantizada. Además, mantiene el criterio de que la financiación a largo plazo debe estar condicionada a la fiabilidad ambiental de los sucesivos dispositivos termonucleares, según los criterios de compatibilidad ambiental de cada momento, que son cada vez más estrictos conforme avanzan los conocimientos y la conciencia medioambiental.

En efecto, además de los problemas ambientales que conlleva la refrigeración de toda gran instalación energética, las centrales de fusión también presentarían problemas de contaminación radiactiva. En el propio funcionamiento del reactor se utilizaría y se produciría tiro, que es un gas radiactivo, aunque con una vida media relativamente breve (doce años). Pero el problema más grave estribaría en los materiales de la primera pared del recipiente que contiene el combustible. En los reactores experimentales actuales ya se ha comprobado que el bombardeo de los neutrones los activa, esto es, los convierte en materiales radiactivos.

En un reactor comercial, la radiación y las enormes temperaturas del plasma —300 millones de grados para lograr la ignición— tendrían efectos tan destructivos que ni existen ni se vislumbra la obtención de materiales que resistan los treinta años de vida útil del reactor. Habría que reemplazarlos cada tres o cuatro años, si no antes. De esta forma, la producción de residuos radiactivos, principal problema de la energía nuclear de fisión, aparecería también, aunque quizás atenuada, en la de fusión.

En relación con su cualidad de fuente inagotable y barata, pronto quedaría de manifiesto que tampoco la energía de fusión conduciría al reino de la abundancia energética. Su “combustible” básico, el deuterio, es muy abundante, pero los límites de una fuente de energía no se refieren sólo ni principalmente a las reservas de combustible. Otros factores pueden acotar su uso de forma aún más estricta.

Algunos atrevidos científicos que trabajan en la fusión se han arriesgado a calcular que el combustible, inagotable o no, apenas representaría el 1 por mil del coste total de la energía producida en un reactor de fusión. El otro 99,9 por ciento correspondería a los costes fijos, en su gran mayoría costes de amortización de los enormes capitales necesarios para la construcción del reactor. De poco serviría un combustible inagotable y “barato”, si para quemarlo fuera necesario crear instalaciones inmensamente caras, cuya repercusión sobre el coste de la energía obtenida superaría en cientos de miles de veces a la de ese providencial combustible.

De este modo, el debate-ficción pronto aterrizaría en el verdadero problema conceptual de la energía de fusión, que radica en su irracionalidad física intrínseca. La idea de crear en un recipiente hipersofisticado temperaturas de cientos de millones de grados, con toda la complejidad tecnológica que ello supone, para obtener a partir de él energía con la que calentar una cafetera a cien grados, encender una bombilla o mover un tren constituye en sí misma la mayor aberración termodinámica imaginable: crear energía de la más alta calidad (muy baja entropía) que a continuación ha de ser degradada en sucesivas transformaciones antes

países: Estados Unidos, Rusia, China, Japón, India y Corea del Sur, con un presupuesto inicial de 5.900 millones de euros. Sin embargo, el incremento del presupuesto a 15.000 millones de euros ha puesto en peligro la continuidad del proyecto. Una vez desarrollados los experimentos, se prevé construir un nuevo reactor nuclear con fines comerciales, Demonstration Power Plant (DEMO). Véase BRUMFIEL, GEOFF (2010) «Fusion reactor set to raid Europe's research funds» *Nature News* 1 de julio, <http://www.nature.com/news/2010/100701/full/news.2010.327.html>

de poder utilizarla en aplicaciones triviales. Es esta irracionalidad física la que se traduce automáticamente en irracionalidad económica. Este es el problema de fondo que pesará siempre sobre la energía de fusión.

Las razones de un proyecto irracional

Cabe por último preguntarse por las razones que mantiene vivo el insensato programa de desarrollo de la energía de fusión.

El primero y principal es probablemente el propio interés de la comunidad científica vinculada al programa. Actualmente, tanto en física fundamental como en casi todos los ámbitos de la ciencia, las expectativas profesionales —y económicas— de un científico están totalmente condicionadas por el volumen de los presupuestos de investigación que consigue.

Los dirigentes del *establishment* científico que presentan la fusión como la solución definitiva de los problemas energéticos saben que esta es la mejor vía para obtener recursos financieros. Así han logrado, por ejemplo, acaparar en los últimos años más del 60% de los presupuestos de investigación energética de la CE. Otro 25% financia la energía nuclear de fisión, y el resto se lo reparten todas las demás, con una dotación simbólica para las energías renovables.

La forma en que los dirigentes científicos vienen utilizando las convulsiones del mercado energético para lograr las grandes asignaciones financieras que periódicamente dan impulso al programa de fusión es enormemente ilustrativa. Así, por ejemplo, el reactor Joint European Torus (JET) estaba previsto que funcionase hasta 1996, pero la crisis del Golfo proporcionó una ocasión única para atraer la atención de los gobiernos sobre la energía de fusión. Por ello se adelantó en varios años el programa de experimentos finales, que producen la máxima cantidad de energía que la máquina es capaz de aportar, pero al mismo tiempo la *quemar* e inutilizan para la mayor parte de los usos posteriores, al contaminar radiactivamente el núcleo del reactor.

El primero de estos experimentos se realizó pocos meses después de la Guerra del Golfo, y pocas semanas antes de la reunión de ministros de la CE que debía pronunciarse sobre la aprobación de nuevos créditos para el programa de fusión. Fue presentado ante la prensa internacional como la «confirmación de la viabilidad de la energía de fusión como fuente energética». Pocos meses después, no sólo la CE acordó intensificar las investigaciones en fusión, si no que se adoptó la decisión conjunta EE.UU./CE/Japón/URSS (fue el último acuerdo internacional de importancia que firmó la URSS) de construir un nuevo reactor experimental ITER, mucho más potente y costoso que el NET que había previsto la CE en su propio programa. Pocos meses antes de la Guerra del Golfo, los Estados Unidos habían reducido su programa de fusión, y el ambiente que reinaba en la CE respecto a esta cuestión hacía presagiar la congelación del programa europeo.

No está de más recordar que la luz verde para el diseño del JET se obtuvo en 1973, coincidiendo con la primera crisis del petróleo, y su construcción, que es la etapa de mayor inversión, se realizó entre 1979 y 1982, coincidiendo con la segunda crisis.

Por su parte, los gobernantes de los países del Norte, que rubrican periódicamente tales prioridades presupuestarias, actúan probablemente impulsados por varias finalidades simultáneas.

En primer lugar, proyectan al futuro la geopolítica del presente e imaginan que el desarrollo de la energía de fusión, aunque vaya contra toda racionalidad energética y económica, garantiza a largo plazo el predominio del Norte desarrollado sobre el conjunto de la humanidad. Con el desarrollo excluyente de la fusión, los países avanzados pueden acariciar la idea de detentar también el único monopolio económico mundial de importancia que hasta ahora se les ha escapado de las manos: el energético. Mientras, el desarrollo tecnológico a gran escala de las energías renovables —mucho más factible y de resultados más rápidos y seguros que el de la fusión— conduciría exactamente en la dirección opuesta.

Por otro lado, la imagen idealizada de la energía nuclear de fusión justifica hasta cierto punto la pésima imagen de la única energía nuclear realmente existente ahora y por mucho tiempo, que es la de la fisión. Las centrales nucleares actuales se presentan de este modo ante la opinión pública como una etapa inevitable en el desarrollo de la energía nuclear, a la espera de la solución definitiva. Hay otros muchos ejemplos de este tipo de manipulación tecnológica: el coche eléctrico, el futuro reciclaje universal...

Como última y quizá principal finalidad, la conformidad del desarrollo de la energía de fusión les permite defender la validez del modelo energético global sobre el que se apoya la organización económica actual. Falsificando ante la opinión pública las fechas en las que los propios científicos aseguran que estará disponible la fusión, la presentan como la fuente “inagotable” que sustituirá al petróleo y a otras fuentes convencionales en vías de agotamiento, o sometidas a fuertes límites ambientales.

En este planteamiento están democráticamente arropados por sus respectivas sociedades. La población de los países avanzados comparte con sus dirigentes la interesada fe en la quimera de la fusión. La creencia en una solución próxima y definitiva para los problemas energéticos de la humanidad es la mejor coartada para evitar el tener que replantearse el funcionamiento del actual modelo energético, basado

en el despilfarro de energía y de bienes materiales, en una irresponsable permisividad ambiental y en la radical desigualdad de consumos entre el Norte y el Sur. Cualquiera de estas razones por sí sola —y mucho más la coincidencia de las tres— demuestra que este modelo es insostenible a largo plazo. Pero la fusión lo hace mágicamente aceptable, porque encarna la esperanza de la redención tecnológica, clave central del sistema de mitos sobre el que se cohesionan las sociedades desarrolladas.

El largo sueño de la fusión ha operado ya para dos generaciones de ciudadanos de los países desarrollados como uno de los principales mecanismos de legitimación de un arcaico concepto de progreso basado en el crecimiento indefinido de la producción y el consumo en el Norte a cualquier precio, incluidos el saqueo de la naturaleza y el hundimiento económico del Sur. Los beneficios de la energía de fusión puede que lleguen —si llegan— en el siglo XXII. Pero sus daños son ya muy tangibles.¹⁰

¹⁰N. de E.

Algunas referencias bibliográficas

AA.VV.

2009 «Beyond Fossil Fuels: Energy Leaders Weigh In»
Scientific American, April, <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=beyond-fossil-fuels-energy>.

AA. VV.

2009 «The Future of Nuclear Power»
Scientific American, especial de *Scientific American* sobre la energía nuclear,
<http://www.scientificamerican.com/report.cfm?id=nuclear-future>.

ATZENI, STEFANO Y JÜRGEN MEYER-TER-VEHN

2004 “Nuclear Fusion Reactions”
en *The physics of inertial fusion: beam plasma interaction, hydrodynamics dense plasma physics*,
<http://www.oup.co.uk/pdf/0-19-856264-0.pdf>.

CCE

1976 «The Jet Project»
Information, Research and Development, http://aei.pitt.edu/10223/01/70296_1.pdf.

CONN, ROBERT W.; CHUYANOV, VALERY A.; INOUE, NOBUYUKI Y SWEETMAN, DONALD R.

1992 «The International Thermonuclear Experimental Reactor»
Scientific American, versión castellana «El reactor termonuclear experimental internacional» en *Investigación y ciencia* número 189, junio.

DEUTCH, JOHN Y ERNEST MONIZ

2006 «The Nuclear Option»
Scientific American, Septiembre.

FURTH, HAROLD P.

1995 «Fusión»
Investigación y ciencia, número 230, noviembre.

GIBBS, WAYT

2009 «Plan B for Energy: 8 Revolutionary Energy Sources»
Scientific American, 8 de abril, <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=plan-b-for-energy-8-ideas>.

MOYER, MICHAEL

2010 «Fusion’s False Dawn»
Scientific American, marzo. Versión española «Las dificultades de la fusión nuclear» en *Investigación y ciencia* número 404, mayo 2010.

PALUMBO, D.

1987 «Nature and Prospects of the EURATOM Fusion Programme»
Philosophical Transactions, Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences,
<http://www.jstor.org/stable/37751?seq=8>.

RIPIN, BARRETT

1999 «Considering the obvious benefits of fusion energy and the considerable efforts spent trying to attain them, why hasn’t fusion research so far produced better results?»
Scientific American, 21 de octubre, <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=considering-the-obvious-b>.

ROTHWELL, GEOFFREY

1992 «Can Nuclear Power Compete?»
Regulation, Winter. <http://www.cato.org/pubs/regulation/regv15n1/v15n1-7.pdf>.

SAETA, PETER

1999 «What is the current scientific thinking on cold fusion? Is there any possible validity to this phenomenon?»
Scientific American, 21 de octubre, <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=what-is-the-current-scienc>.

SÁNCHEZ SANZ, J.

1992 «Fusión nuclear. Diagnóstico de plasmas»
Investigación y ciencia, número 194, noviembre.

VANDEMPHAS, PAUL Y GERD WOLF

2008 «50 years of controlled nuclear fusion in the European Union»
Europhysics New, número 2, volumen 39.

Recursos en Internet

- World Nuclear Association (WNA), <http://www.world-nuclear.org/info/inf66.html>.

-
- European Fusion Development Agreement (EFDA), <http://www.efda.org/>.
 - International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER), <http://www.iter.org/>.
 - Joint European Torus (JET), <http://www.jet.efda.org/>.
 - Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (CORDIS), http://cordis.europa.eu/home_es.html.
 - The European Atomic Energy Community (EURATOM), http://ec.europa.eu/energy/nuclear/euratom/euratom_en.htm.
 - Joint Research Centre (JRC), <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm>.