

**El profesor Steven Cowley -
Consejero Delegado, Reino Unido Autoridad de Energía Atómica y Jefe de
EURATOM / CCFE Fusión Asociación**

Steven Cowley se convirtió en Director de Culham en septiembre de 2008 y fue designado como Director General de la Autoridad de Energía Atómica del Reino Unido en noviembre de 2009. Recibió su licenciatura de la Universidad de Oxford y se doctoró en la Universidad de Princeton. El trabajo Post-doctoral del profesor Cowley fue en Culham y regresó a Princeton en 1987. Se unió a la facultad en la Universidad de California en Los Angeles en 1993, llegando al rango de Profesor Titular en 2000. De 2001 a 2003 dirigió el grupo de física del plasma en el Imperial College de Londres. Él sigue siendo un profesor a tiempo parcial en el Imperial College. Ha publicado más de 100 trabajos y artículos. Profesor Cowley copresidente de la Academia Nacional de la evaluación y la perspectivas de la ciencia plasma en los EE.UU.: *Plasma Science: Promoción del conocimiento para el Interés Nacional* (National Academy Press 2007). Es miembro de la Sociedad Americana de Física y el Instituto de Física, y el destinatario el 2012 de IOP Medalla Glazebrook para el liderazgo en la física. En junio de 2011, el Profesor Cowley fue nombrado Consejero del Primer Ministro para la Ciencia y la Tecnología.



Fusión y futuro empiezan por las mismas letras y no parece casualidad. El conseguir una fuente de energía prácticamente inagotable, segura y respetuosa con el medio ambiente está, más que nunca, al alcance de nuestra mano. Del 17 al 28 de junio se reunieron en Madrid una selección de los mayores expertos mundiales en lo que se llama “Teoría Girocinética”, una pieza clave para comprender el comportamiento del combustible en el interior de los reactores de fusión, donde se trabaja a temperaturas que se miden en millones de grados. Steve Cowley fue el encargado de inaugurar este congreso con una charla en el CIEMAT. Es desde 2008 el director del Culham Center for Fusion Energy, en Reino Unido, el laboratorio que posee el record de energía generada mediante fusión nuclear en su reactor, JET. Fruto de la cooperación europea, consiguió en 1997 fusión nuclear controlada produciendo 16 megavatios de potencia durante unos pocos segundos, sentando las bases de una nueva tecnología. Profesor en el Imperial College de Londres y asesor científico del primer ministro británico, su preocupación por dar a conocer la fusión nuclear y sus avances le ha llevado a ser una cara visible en el mundo de la ciencia y la energía. Nos recibe en el CIEMAT Iván Calvo, uno de los organizadores del congreso. Iván se confiesa lector de Jot Down y antes de ni tan siquiera pisar la sala donde nos reuniremos con Steve Cowley, ya nos está preguntando por la fecha de publicación de la entrevista. Nos acomoda amablemente en una sala de trabajo y al poco tiempo llega Steve que, contrario al tópico, en la tele parecía bastante más pequeño. La sensación de tener delante a alguien de quien llevas tiempo viendo videos, entrevistas y conferencias es bastante rara, pero él lo pone fácil. Tras comentar unos poster con antiguos proyectos de energía solar del CIEMAT, empezamos.

¿Cómo explicaría usted qué es la fusión nuclear a alguien que no sabe nada de física o de energía nuclear?

El elemento con el núcleo atómico más estable de la naturaleza es el hierro, justo en medio de la tabla periódica de elementos. Podremos obtener energía nuclear de los elementos que se encuentran a cualquiera de los lados de este elemento. Si tomamos núcleos más pesados, como los del uranio, y los dividimos, obtendremos energía, y si tomamos núcleos más ligeros como los del hidrógeno y los juntamos, obtendremos energía. Esta energía proviene de la fuerza que mantiene los núcleos de los átomos unidos: la fuerza nuclear fuerte. Al principio del universo, después del Big Bang, comenzamos básicamente con hidrógeno, el material del que están hechas las estrellas. Lo que pasa en el centro de las estrellas es que los núcleos de hidrógeno chocan a alta velocidad entre sí y se fusionan formando helio. El problema es que los núcleos de

hidrógeno se repelen eléctricamente cuando están cerca, así que solo si se acercan lo suficiente para que la fuerza nuclear fuerte contrarreste esta repulsión y los una, puede ocurrir la fusión. El proceso más simple es el de fusionar dos átomos de hidrógeno para conseguir uno de helio, pero este proceso genera todos y cada uno de los elementos del universo: carbono, oxígeno, oro. Todo de lo que estamos hechos proviene de la fusión en el centro de las estrellas. Es este proceso de fusionar dos núcleos de hidrógeno para obtener uno de helio el que nosotros intentamos reproducir para obtener energía. En nuestro caso tratamos de fusionar dos formas diferentes, isótopos, de hidrógeno: deuterio y tritio, pero se trata de hidrógeno al fin y al cabo.

Entonces, ¿cuál es la diferencia entre fusión y fisión, la actual forma de energía nuclear?

La fisión nuclear es el proceso de dividir núcleos muy pesados en elementos más ligeros, como el hierro. En realidad el uranio es un accidente de la naturaleza. Proviene de las supernovas de estrellas, el momento en el que la naturaleza colisiona núcleos estables como el del hierro y crea elementos más pesados e inestables. Se podría decir que el hecho de encontrar uranio en la Tierra es una especie de regalo de la naturaleza, más allá del uso que le demos nosotros.

Sabemos cómo ocurre en las estrellas pero ¿de qué manera tratamos de recrearlo de manera controlada?

Si observas un avión, podrás ver su similitud con un pájaro, lo cual es debido a que los primeros diseños trataban de imitar en cierto modo las formas de las aves. Un gran número de máquinas tienen un análogo en la naturaleza al que imitan en cierto modo. Las estrellas son el único reactor de fusión natural que conocemos y se valen de su enorme masa para conseguir, mediante confinamiento gravitatorio, las condiciones de presión y temperatura que dan lugar a las reacciones de fusión en su núcleo. Obviamente, no podemos reproducir un sistema de esas dimensiones en la Tierra, tenemos que hacer fusión a escala humana. El problema es que para conseguir un número suficiente de reacciones se necesitan temperaturas unas diez veces más altas que las del centro del Sol. Estamos hablando de cerca de doscientos millones de grados. Para poder hacer esto, necesitas confinar el combustible de fusión mientras le das tiempo para que las reacciones nucleares ocurran. No puede tocar nada porque se enfriaría y fundiría las paredes, y para eso se han ideado dos tecnologías. La más avanzada y cercana a lograr sus propósitos se basa en mantener alejado el combustible de las paredes de una cámara con forma de rosquilla, empleando fortísimos campos magnéticos. Se genera una botella invisible hecha de campos magnéticos que mantiene al combustible a 200 millones de grados alejado de la pared. El combustible es plasma, gas ionizado, como el de los tubos fluorescentes, aunque el de estos está, como mucho, a 10.000 grados. Esta “botella” de la que hablamos se parece más en realidad a un montón de hilos de lana invisibles enrollados alrededor del combustible, sujetándolo.

¿Desde cuando se conoce o domina esta técnica?

El confinamiento magnético se conoce desde hace casi 50 años, pero ha sido solo en los últimos 20 cuando hemos perfeccionado las técnicas de contención con campos magnéticos. En 1997 fuimos capaces de crear y contener plasma a casi 200 millones de grados en el JET (Joint European Thorus), en mi laboratorio de Reino Unido, y ahora

estamos preparando un reactor mucho más avanzado; ITER. JET generó 16 megavatios durante un par de segundos. ITER, será capaz de generar 500 megavatios de manera sostenida durante miles de segundos y será capaz de mantenerse encendido sin necesidad de aporte energético exterior. Será un reactor de fusión auto-sostenido. Será como encender una hoguera: pones madera, enciendes el fuego y una vez hecho esto, el fuego está suficientemente caliente como para que solo haga falta añadir más madera. Estamos en un momento crucial en el que somos capaces de demostrar que la fusión es posible.

¿Por qué hay tantas expectativas en torno a la fusión? ¿De dónde le viene esa etiqueta de “final y definitiva”?

La única barrera hacia la fusión es lo que sabemos. Se podría decir que con la fusión generaríamos energía a partir del conocimiento. Esto es porque el combustible para la fusión lo podemos encontrar en el agua del mar. De ahí podemos extraer las dos formas de hidrógeno que necesitamos: deuterio y tritio. El deuterio está presente en 1/6000 partes en el agua del mar y el tritio se puede obtener a partir de litio, que también se extrae del agua marítima. Se puede decir que hay combustible para satisfacer durante trece millones de años las necesidades energéticas de la Tierra con fusión nuclear. Así que una vez sabes cómo hacer bien la fusión, prácticamente no merece la pena usar otro tipo de energía, de ahí la etiqueta de definitiva. Es limpia, no produce CO₂, es totalmente a prueba de cualquier tipo de accidente grave y no produce residuos radiactivos de vida larga. Además, lo que es más importante es que todo el mundo tendría acceso al combustible, este pertenecería a todos. El problema es que es muy difícil. Ahora es difícil porque no sabemos cómo hacerlo bien, pero una vez sepamos, el secreto será desvelado y todo el mundo podrá usarlo.

¿Cómo de versátiles y escalables serían este tipo de centrales?

Eso es exactamente en lo que estamos trabajando ahora. Una central eléctrica de fusión no tiene por qué ser más grande que una central de gas o carbón y además se podría situar prácticamente en cualquier lugar, eso no es ningún problema. El asunto es el siguiente: si me preguntas, te diré honestamente que vamos a conseguir un reactor de fusión plenamente operativo. Lo que no te puedo asegurar es que seamos capaces de que los costes y escalas de la fusión sean los que los consumidores quieren. Los diseños con los que estamos trabajando nos llevan a proyectos grandes y caros. Aún no sabemos hacer un reactor de fusión pequeño y barato. ¿Lo conseguiremos diseñar? Espero que sí. Estoy totalmente convencido de que ITER logrará la fusión dentro de los parámetros deseados, pero también es cierto que el coste actual es diez veces superior al de la energía solar.

¿Podría explicar qué es ITER?

El reactor ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) es el siguiente paso en la investigación de la tecnología de fusión y estará listo para funcionar en torno a 2018. El principal participante con un 45% del presupuesto es la Unión Europea. Dentro de la UE, Francia es el país que más contribuye, dando sede al proyecto en Cadarache, cerca de Marsella. También están involucrados los EE.UU, China, Rusia, India, Japón y Corea del Sur. Ha habido otros proyectos científicos con gran cooperación internacional, pero este es el primero en el que está involucrada más de la

mitad de la población mundial, y esto es algo maravilloso. ITER tiene un objetivo: el ser capaz de generar reacciones de fusión nuclear sostenidas en el tiempo, sin necesidad de aporte externo de energía, con una relación de 10 entre la energía obtenida y la aportada, lo que llamamos $Q > 10$.

¿Qué ha cambiado en ITER? ¿Qué problemas se han solucionado?

En realidad las condiciones en el centro de ITER no son tan diferentes de las de JET. La diferencia es que ITER es el doble de grande, de manera que el calor necesita más tiempo para salir, consiguiendo contenerlo durante más tiempo. Es por esto que el calor de fusión es capaz de reemplazar al que aportamos externamente. ITER es un reactor mucho más grande y eficiente que JET. Dado que el margen de temperaturas de trabajo viene marcado por la física de la fusión, el tamaño y forma de la cámara del reactor han demostrado ser importantes; ITER es un gran avance en esta dirección y nos ayudará a batir todos los records.

Tengo entendido que los materiales de la pared del reactor suponen un problema tecnológico. ¿Es esto así?

Las paredes del reactor son un problema de cara al desarrollo de centrales comerciales, no para el caso de ITER. No vamos a utilizar ITER tanto como para que las paredes del reactor se deterioren notablemente. Con la fusión, obtenemos helio y un neutrón. El helio se queda dentro del campo magnético y calienta el plasma, pero el neutrón sale disparado hacia las paredes, choca contra ellas y las calienta. Los neutrones, al atravesar el acero de las paredes pueden chocar contra un núcleo y este puede descolocarse causando daños a la estructura del acero. Con el tiempo, las paredes se degradarán y dejarán de ser efectivas como sistema de contención y estructura. Si este proceso ocurre muy rápido, será muy difícil hacer fusión a precios de mercado. Estamos trabajando en materiales que aguanten más tiempo, de modo que en vez de cambiar las paredes cada dos años sea cada seis. Este es un problema de una capa muy fina de la pared del reactor y estoy seguro de que lo resolveremos. Aún así, es un asunto para el que todavía no se ha encontrado una solución definitiva.

¿Será ITER capaz de generar electricidad?

El producir electricidad sería posible en ITER. Esa parte de la tecnología no es un gran desafío ya que la mayor parte son equipos convencionales. Lo que ITER producirá es calor y si quisieras podrías usar ese calor para mover una turbina de vapor. El problema es que, en este caso, por el carácter experimental y no comercial del proyecto, estaría más tiempo parada que funcionando. Es por eso que se desechó esa posibilidad.

Supongo que estará algo cansado de esta pregunta pero, ¿para cuándo el primer reactor comercial de fusión?

En este momento del proyecto es muy difícil contestar, porque si ITER no consigue sus objetivos tendremos un fuerte retraso respecto a lo planificado. De todos modos, la hoja de ruta europea ha fijado la década de 2040 como la que verá la primera central eléctrica de fusión. Esa es una fecha plausible, pero hay muchas dudas al respecto:

¿conseguiremos el dinero? ¿Serán los resultados de ITER suficientemente prometedores? ¿Cómo de desesperada estará la gente respecto a la energía?

¿Desesperada respecto a la energía?

Si echas un vistazo a los combustibles fósiles, hay un montón de gas natural, y la gente está entusiasmada con el gas. Si solo nos preocupamos por lo baratas que son las cosas, podrías quemar gas natural, gas de esquisto y otros productos no convencionales durante casi 100 años. Solo tendrías que preocuparte por las enormes cantidades de CO₂ que se emitirían a la atmósfera. El cambio climático sería muy notorio, catastrófico o tal vez no, no lo sabemos. Pero si el cambio climático comienza a afectar seriamente a las personas, estas se empezarán a preocupar por eliminar el carbono de la electricidad. Entonces solo tendremos unas pocas opciones: solar, pero es cara, fisión con reactores reproductores, con los problemas de aceptación política que trae y la fusión. Y si miras a estos tres, ninguno de ellos tiene garantía de éxito, y menos contra el gas barato.

¿Qué salida hay entonces?

Debemos hacer la investigación ahora. No podemos levantarnos un día dentro de 30 años y decir: “quiero hacer reactores de fusión”. Porque no funciona así, no hemos hecho suficiente investigación todavía. Es el mismo caso que con la energía solar. No se ha invertido suficiente en investigar, se ha invertido mucho en mantener a la industria de la energía solar. Y con la fusión podría ocurrir lo mismo si no hacemos el esfuerzo en investigación. Estamos en un momento en el que sabemos que es posible, ha costado 50 años pero es posible, lo hemos visto en JET: encendemos el reactor, contenemos el plasma, es estable, subimos la temperatura hasta casi 200 millones de grados, lo mantenemos unos segundos y apagamos la máquina, todo sin problemas. Esto debería ser una respuesta para todos aquellos que dicen que no merece la pena. Lo que más ha frenado el avance de la fusión no ha sido la tecnología, han sido la falta de fe de algunas personas y de los políticos.

He mencionado antes la etiqueta de “definitiva”, pero ¿qué hay de la de “eterna promesa”? La sensación es que los grandes avances no llegan. ¿Es porque ha habido toda una serie de pequeños pasos que no han sido noticia o porque hubo un parón en la labor investigadora?

Eso es un tema interesante... Supongo que es un poco las dos cosas. Los primeros experimentos en los años 50 no conseguían el confinamiento magnético. Tratas de sujetar algo que está girando y arrugándose a millones de grados con campos magnéticos que al final se parecen a hilos de lana invisible enrollados alrededor. Es muy complicado y al principio el plasma simplemente se chocaba contra las paredes. Tuvimos que desarrollar la teoría y la física para entender el comportamiento del plasma. Hasta los años 90 estábamos muy lejos de las condiciones de fusión, pero a lo largo de esa década todo mejoró bastante y en 1997, como ya he mencionado, logramos la fusión en JET. Así que supongo que salvo ese hito, el progreso ha sido bastante poco notorio y además en 1997 el petróleo era muy barato y a nadie le preocupaba el cambio climático. El avance fue lento, y a la clase política y al público en general no le importaba demasiado. Así que la respuesta supongo que es un poco ambas cosas.

¿A qué se ha debido este avance lento?

Muchas veces las tecnologías revolucionarias no se gestan de la noche a la mañana. Acabamos de celebrar cien años desde el descubrimiento de los superconductores. A día de hoy hay muy pocas evidencias de estos en nuestra vida cotidiana, y estoy convencido de que es una tecnología que llegará fuerte un día de estos con cosas como líneas de alta tensión hechas de superconductores. Cuando la gente piensa en la historia del vuelo empieza desde los hermanos **Wright**, pero han pasado miles de años desde que el hombre empezó a intentar volar hasta que lo consiguió. Simplemente se necesita tiempo. Hubo un estudio muy interesante en Estados Unidos en el año 76, en plena crisis del petróleo. Estaban como locos por desarrollar nuevas formas de energía, entre ellas la fusión. Lo que hicieron fue estimar el coste del desarrollo de la tecnología de fusión poniendo el horizonte en 1993. Pero al poco de terminar el estudio, el precio del petróleo volvió a bajar drásticamente. Entonces las conclusiones del estudio dijeron lo siguiente: “si financiamos el proyecto al más alto nivel, conseguiremos la tecnología en 30 años”, “si lo financiamos un poco menos, lo tendremos en 40 años” y “si la financiación está por debajo de un determinado umbral nunca se lograrán resultados, sólo conseguiremos tener entretenidos a unos cuanto científicos”.

¿Entonces ha sido un problema de dinero?

Bien, la cantidad de dinero que se dedicó finalmente a fusión es muy cercana a este umbral. Por suerte, desde 1976 hasta 1983 hubo una gran cantidad de dinero disponible y con ello se construyó JET y otro proyecto similar en Estados Unidos, pero poco después la financiación fue cayendo hasta hacerse mínima. Ahora con ITER, volvemos a tener mucho dinero disponible y esto va a marcar la diferencia.

Incluso si los objetivos se cumplen, ¿cree que la energía de fusión llegará a tiempo antes de una crisis de escasez de los recursos fósiles?

Si observamos a lo que está ocurriendo ahora con el petróleo y el gas, es bastante complejo. Estamos extrayendo petróleos no convencionales, gases de esquisto, arenas bituminosas y otros recursos no convencionales. Esto duplica o triplica las reservas de hidrocarburos. Esto significa casi 200 años más de combustibles fósiles si queremos utilizarlos. La fusión estará lista para mediados de siglo, así que no creo que el agotamiento de los recursos fósiles vaya a ser un problema. Lo que de verdad me preocupa es quemar todos esos recursos y su impacto sobre el clima.

¿Conoce la teoría del pico de petróleo?

Sí. Lo que la mayor parte de la gente cree es que será difícil sostener el nivel actual de consumo incluso con los recursos no convencionales, porque los recursos fáciles de extraer se están agotando y cada vez dependemos más de los “difíciles y caros”. Cabe esperar un estancamiento, una meseta, del suministro de gas y petróleo en unos años. Lo interesante de algunos de estos recursos no convencionales es que vienen de otros países como Canadá, Argentina o Polonia, los cuales tienen un trato “más fácil” que, por ejemplo, Rusia.

La energía de fusión solucionaría el problema de la producción de electricidad pero, ¿qué pasa con los medios de transporte y el resto de necesidades energéticas? ¿Cree usted en un cambio de paradigma hacia el hidrógeno o más bien en una electrificación masiva de los procesos y medios de transporte?

La electricidad es algo maravilloso. Puedes generarla en una central nuclear en mitad de Inglaterra y utilizarla para cargar la batería de un coche eléctrico en el centro de Londres con unas pérdidas de energía relativamente pequeñas. Y esto es algo que solo la electricidad puede hacer. No conozco de cerca el caso de España, pero imagino que el proceso será similar. En el Reino Unido hay una tendencia clara hacia la electrificación del transporte, la climatización de edificios y muchos procesos industriales que hasta ahora utilizaban combustibles fósiles. Yo vivo en Londres, y sueño con el día en el que al salir a la calle no escuche el sonido de los coches, no porque no estén ahí, sino porque se muevan con silenciosos motores eléctricos. Esto haría de las ciudades lugares mucho más agradables, saludables y llenos de vida. Además, gran parte de las tecnologías que emplean electricidad son mucho más eficientes que sus contrapartidas basadas en hidrocarburos. No solo estaríamos recortando las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que nos podríamos ahorrar cerca de un tercio del consumo energético de estos sistemas. Aún tenemos edificios mal aislados, redes eléctricas poco eficientes y coches que consumen mucha gasolina. Creo que una economía mucho más basada en la electricidad es atractiva para el futuro.

¿Cree que el mundo en 2050 podrá soportar otros mil millones de consumidores al nivel de un europeo o estadounidense? La energía podría ser sólo la punta del iceberg.

Estuve recientemente en una serie de conferencias donde se debatía acerca de la población mundial. Algunos medioambientalistas estaban discutiendo acerca de este tema y por primera vez en mucho tiempo les escuché decir que la población en el mundo empieza a ser un verdadero problema. Lo que a todos nos gustaría, desde mi punto de vista, es que todo el mundo pudiera tener un nivel de vida digno. Queremos que la gente de los países pobres mejore sus estándares de vida y para ello necesitan consumir más energía. La energía es esencial para un estándar de vida alto, no a los niveles de los Estados Unidos, pero es necesaria. Si queremos que esto sea así, es preocupante, especialmente para un mundo con 7.000 millones de personas y apuntado a los 9.000 millones a mitad de siglo. Me preocupa cómo vamos a ser capaces de reducir la población mundial a un tamaño más manejable de una manera políticamente aceptable, sin guerras ni catástrofes.

Antes me mencionaba el cambio climático y el interés que puede, o no, suscitar en la clase política y en el público en general la investigación en energía. ¿Qué hará que la gente se empiece a preocupar por la energía: el cambio climático o su dinero? ¿Llegará el cambio climático a convertirse en algo que interese a la gente o sólo miramos por nuestro bolsillo?

Creo que... (Duda). Esa es una respuesta difícil, pero voy a tratar de simplificarla mucho: creo que la gente se preocupa sobre todo por la economía, de lejos. Creo que hasta que no consigamos formas de energía tan baratas como los combustibles fósiles, nunca dejaremos de usar estos. Vamos a asistir a un experimento interesante en Alemania: están cerrando sus centrales nucleares y quieren reducir sus emisiones de CO₂. Me preocupa que el coste de la energía se dispare en Alemania, el corazón industrial de la UE, afectando a su competitividad. Si países como China no hacen lo mismo, si China quema carbón barato de manera masiva, tendrá energía barata y muchas empresas pueden terminar por irse allí. Es muy difícil para un gobierno tomar medidas acerca del cambio climático cuando Estados Unidos y China lo ignoran. Lo

que tenemos que hacer los científicos es proporcionar a la gente una fuente de energía alternativa tan barata como los combustibles fósiles, o casi tan barata, solo entonces habrá respuesta por parte de la población. Si la alternativa es dos o tres veces más cara, como lo son ahora las renovables... No creo que haya un apoyo masivo, y menos en la actual situación de crisis.

Economía aparte, hay gente que decide el voto a uno u otro partido político por asuntos como el aborto, la inmigración o el matrimonio entre homosexuales. ¿Hay alguna forma de conseguir que el programa de ciencia de un partido político haga que un número relevante de gente vote a uno u otro partido?

Los políticos se preocupan por los votos. Pero creo que los votantes se interesan por los políticos que demuestran tener visión. Creo que si observamos a algunos de los políticos más exitosos de los últimos cien años, muchos fueron aquellos que tuvieron una visión de un futuro mejor y se lo supieron transmitir a los votantes. No es estrictamente ciencia, sino visión. **John F. Kennedy** dijo: “iremos a la Luna”. Y es esa visión lo que atrajo la atención del público. Los políticos tienen que mostrar perspectiva y visión, y parte de esto está relacionado con nuestro futuro científico. Los votantes pueden ser muy complejos. Si no hay algo que les motive realmente, se quedan en casa. Además, la gente se preocupa por sus hijos, por dejarles un mundo lleno de problema. Este es el tipo de cosas que pueden marcar la diferencia.

¿Puede el futuro de ITER estar comprometido por la crisis financiera por la que está pasando Europa?

Por supuesto que sí, sin ninguna duda. Me gustaría decir un par de cosas acerca de esto: no debemos perder los nervios en Europa respecto a nuestro futuro. Debemos mantenernos en la vanguardia de la tecnología en todos los campos porque no podemos competir con la mano de obra barata de otros países. No quieres que tu país tenga los trabajadores más baratos, porque eso es la parte más baja de la economía. Si en 50 años no estamos a la cabeza de la tecnología que domina la producción de energía, tendremos un problema. Tenemos que asegurar nuestra posición tecnológica para la fusión y probablemente para la fisión también. No nos podemos permitir quedar fuera.

¿Cómo justificar ante la población este tipo de gastos entonces?

Es algo difícil de justificar, pero debemos recordar que estamos labrando un futuro y que el dinero gastado vuelve en forma de empleos y tecnología. El dinero gastado en ITER no se va a Rusia o Arabia Saudí para comprar petróleo o gas, sino que se queda en empresas europeas que aprenden tecnologías extremadamente vanguardistas. Estamos aprendiendo a hacer cosas asombrosas: imanes del tamaño de este edificio, nuevos tipos de superconductores, materiales para reactores... Es dinero de los contribuyentes que en cierta manera vuelve a ellos.

Entonces, ¿debería Europa hacer de la fusión uno de sus pilares tecnológicos e industriales?

Si miramos en qué estamos gastando nuestro dinero nos daremos cuenta de que una gran parte va a comprar combustibles fósiles. La industria de la energía mueve al año en el mundo 6 billones de dólares. ¡6 billones de dólares, es enorme! Parte de esa cantidad

es comprar petróleo, carbón y gas, pero también es construir centrales eléctricas. Si Europa construyera reactores de fusión por todo el mundo, dominaría una industria de 6 billones de dólares al año. No podemos permitirnos el no ser parte de eso si queremos ser una de las economías más fuertes del mundo en un futuro. El coste del combustible es despreciable, así que todo el dinero estaría en la tecnología. Si dominamos este campo nos espera un futuro próspero en Europa.

¿Hay interés por parte de la industria?

Sí claro. El problema es que todo el mundo, con razón, quiere hacer las partes complicadas y caras. Los imanes hechos de superconductores, por ejemplo, se consideran una tecnología clave para la fusión, pero podrían tener muchas otras aplicaciones y todo el mundo quiere participar en ellos. Nadie quiere hacer tuberías, solo cosas ultra tecnológicas. Esto da lugar a toda una serie de duras negociaciones entre países y empresas que son una muestra, en cierto modo, de la importancia que tiene este proyecto.

Acerca de Europa y su futuro tecnológico: usted ha desarrollado su carrera profesional en Europa y Estados Unidos. ¿Cuál es la diferencia entre las universidades y los centros de investigación americanos y europeos que hace que prácticamente todas las grandes empresas tecnológicas de las últimas tres décadas como Google, Facebook, Twitter, Oracle, Apple, Microsoft, Yahoo, etc, sean norteamericanas y no tengan ninguna contrapartida europea?

Sería tremendamente feliz si supiera la respuesta a esa pregunta. Lo que siempre me ha gustado mucho de los americanos es su espíritu pionero, el espíritu del “se puede hacer”. Los estadounidenses de verdad quieren cambiar el mundo tal y como es, mientras que en Europa parece gustarnos bastante el mundo tal cual está, y eso ya es una gran diferencia. La otra cosa que han logrado en Estados Unidos es atraer a la gente más inteligente de todos los lugares del planeta. Si miras las plantillas de las empresas de Silicon Valley, están llenas de españoles, británicos, indios... Los americanos han creado la cuna de la tecnología. Las universidades traen a los mejores estudiantes del mundo y si tienes gente lista en el entorno adecuado, tienes empresas.

¿Y esto no va a cambiar?

Si lo piensas, los chinos solían ir en gran número a Estados Unidos a estudiar, y luego se quedaban allí a trabajar y a vivir, porque los mejores trabajos estaban en América. Pero esto ya no es así, muchos de ellos vuelven a China. ¿Qué hará la siguiente generación? No lo se. Cuando fui a hacer el doctorado a Estados Unidos, todos estábamos histéricos acerca de los japoneses: Toyota, Honda, Mitsubishi, todas esas magníficas empresas de ingeniería iban a arruinar América y Europa con su tecnología imparable. Pero Estados Unidos salió del paso bastante bien. ¿Por qué? Porque la tecnología cambió y ellos siguieron estando a la cabeza. Vale, Chrysler no es Toyota y los fabricantes americanos de coches tuvieron serios problemas, pero eso no importó porque Microsoft, Google, Apple, HP, etcétera aparecieron. Todas estas compañías tuvieron oportunidad de crecer y hacerse grandes. En el Reino Unido se crean multitud de nuevas empresas de tecnología, pero ninguna se hace tan grande como las americanas. ¿Estamos haciendo lo correcto en Europa? No lo se, y es una respuesta muy importante. Tenemos un buen sistema educativo, grandes universidades y grandes

mentales, pero muchos se acaban yendo a Estados Unidos... Necesitamos crear unas cuantas Googles en Europa.

¿En qué están trabajando actualmente en su laboratorio? ¿Qué perspectivas hay para JET?

En JET estamos planeando, junto con el resto de compañeros europeos, otra campaña de fusión para 2015 orientada a batir los records de 1997. En los experimentos que hacemos normalmente, sólo ponemos deuterio en el reactor en lugar de deuterio y tritio, con lo que apenas hay reacciones de fusión, pero nos permite hacer ensayos a alta temperatura y nuestros cálculos nos dicen que en 2015 romperemos las cifras de potencia y tiempo de 1997. Trataremos de sacar el máximo partido a JET antes de que ITER esté operativo. También hemos estado probando las paredes de ITER. Están hechas de dos materiales relativamente exóticos: wolframio, que es un metal raro y muy duro y berilio, mucho más blando y ligero. El berilio es muy eficaz para detener los neutrones que se desprenden de la reacción de fusión y el wolframio se utiliza para el sistema de salida de gases de la cámara del reactor, que es la zona que más calor recibe del plasma. Estamos en un momento feliz en el laboratorio: las paredes están demostrando ser las ideales para ITER y las perspectivas para 2015 son muy prometedoras. Los modelos teóricos acerca de los que tratan estas conferencias son la pieza que nos falta.

¿A qué se refiere?

Los modelos que se discuten en estas conferencias, que se denominan “teoría girocinética”, junto a la potencia creciente de los ordenadores, son las claves que nos permiten calcular, a día de hoy, lo que ocurre en mitad del plasma del reactor. Esto es muy importante porque cada paso que damos en fusión es extraordinariamente caro, y si podemos predecir cuál es el paso óptimo utilizando los ordenadores, podemos ahorrar mucho tiempo y dinero.

¿Quiere decir que uno de los problemas de la fusión era la ausencia de modelos físicos que permitiesen hacer buenas predicciones?

Los superordenadores han marcado la diferencia porque nos permiten simular sistemas muy complejos y hacer cálculos con mucha precisión. Podemos simular plasma a 200 millones de grados y ver cómo se comporta. El plasma contiene campos eléctricos y magnéticos en su interior y el simular las partículas cargadas eléctricamente y su interacción es muy complejo. Hace 15 años no había coincidencia alguna entre los experimentos y los cálculos teóricos. Ahora, por ejemplo, hay en estas conferencias una chica del MIT que rondará los treinta años y que acaba de hacer una comparativa entre experimentos y cálculos con superordenadores, y los resultados son muy similares. Estamos cerca de poder predecir los resultados de los experimentos con bastante precisión. Sería muy bueno el poder tener una herramienta basada en un modelo matemático tal que tocando éste o aquel parámetro fuésemos capaces de saber qué va a pasar y qué va a cambiar. Con esta herramienta y toda la información que vamos a sacar de ITER podremos hacer un magnífico reactor.

¿Entonces las conferencias son acerca de modelos matemáticos para plasmas?

Los asistentes a estas conferencias en el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), son los teóricos más brillantes de este campo y se han reunido gracias a la voluntad de dos jóvenes brillantes teóricos españoles, **Iván Calvo** y **Félix Parra**, que dijeron: “¿por qué no nos reunimos todos y discutimos qué nos falta para completar todo el modelo teórico?” La mayor parte de los asistentes a estas conferencias ronda los 30 años, apenas somos dos o tres mayores de 50. Son un magnífico grupo de gente joven, hambrienta de saber.

¿Cuál es el papel de España en la investigación de fusión? ¿Está a la altura de otros países europeos?

España participa en ITER porque ya tenía un programa de fusión bastante bueno. El programa de investigación de la fusión en España ha estado... en Gran Bretaña decimos “golpeando por encima de su peso”. Si eres pequeño, pero golpeas muy fuerte, estás “golpeando por encima de tu peso”. El programa español no es el más grande de Europa, pero tiene una larga e interesante trayectoria y una buena prueba de ello son estas conferencias y las personas que las han organizado.

Como le comentaba antes, existe en torno a la fusión una especie de halo misterioso y han surgido muchos falsos mitos a su alrededor. Oímos hablar de “fusión fría” o de “motores de agua” que son ocultados por las empresas petroleras, y a mucha gente puede no sonarle muy distinto de lo que nos ha contado usted. ¿Hay alguna otra vía seria de investigación aparte de la de ITER y de la que se lleva a cabo en el National Ignition Facility de Estados Unidos?

Nunca puedes decir que no, ya que la fusión es una de esas cosas en las que a veces es difícil separar el grano de la paja. Hay gente que no sabe mucho de física o ingeniería y creen haber tenido una gran idea para hacer fusión. En realidad no tienen ninguna posibilidad, porque en muchos casos violan principios básicos de la física, pero lo sorprendente es que muchas de estas personas consiguen financiación de grupos de capital riesgo y pueden llegar a tener cierta repercusión mediática.

Entonces no conoce ninguna más.

Bueno... Hay un caso muy interesante al que le doy vueltas de vez en cuando: la fusión catalizada por muones. Un muon es un electrón pesado, tiene la carga negativa del electrón pero mucha más masa y apenas dura un microsegundo antes de desintegrarse. Si tienes un muón, un átomo de deuterio y otro de tritio, formarán los tres una partícula, ocupando el muón el lugar de un electrón. El caso es que como el muón es unas 200 veces más pesado, los átomos de deuterio y tritio se encuentran mucho más cerca de lo habitual en la molécula y acaban por fusionarse espontáneamente. De acuerdo con esto, si tomas un recipiente lleno de una mezcla de deuterio y tritio e introduces un muón, este causará la fusión de una molécula de deuterio y tritio. Pero el muón no se consume en el proceso y puede llegar a provocar cerca de 200 fusiones antes de desintegrarse. Esto lo sabemos desde 1946, cuando se observó el proceso durante un experimento. Es la forma de fusión perfecta porque podríamos hacer muones colisionando partículas y los meteríamos en un recipiente con deuterio y tritio calientes, a no mucho más de 500 °C. Las fusiones provocadas por los muones calentarían el medio y podríamos extraer energía de ello. Todo esto a unas temperaturas mucho más manejables que los 200 millones de grados de la fusión con confinamiento magnético de la que hemos hablado.

Se podría decir que 500 °C es “frío” comparado con 200.000.000 °C. El problema es que la energía necesaria para obtener un muón es algo más de 200 veces la que obtenemos de un proceso de fusión, con lo que nunca podríamos obtener energía neta de este proceso. Hay una serie de razones de física fundamental por las que no se pueden conseguir mucho más de 200 fusiones por muón, pero si consiguiéramos 1000 sería la manera ideal de hacer fusión. Yo solía dar una charla acerca de esto hace un tiempo.

La fusión es otra forma de energía nuclear al fin y al cabo. ¿Le preocupa que a algunas personas les siga asustando el adjetivo nuclear?

Creo que la gente aceptará la fusión como la forma segura de energía que es. Tenemos que demostrarle a la gente que no hay ningún tipo de problemas y que es una energía limpia y segura, pero puede tomar cierto tiempo. En cualquier momento, en ITER hay menos de un gramo de combustible en un reactor de más de 1000 metros cúbicos de volumen, esto es gracias a la enorme intensidad de la energía de fusión. Hay muy poco plasma en realidad, y la reacción pararía de inmediato si interrumpiésemos el suministro de combustible. Simplemente, no hay ningún tipo de posibilidad de accidente.

¿Se podrían colocar en cualquier parte entonces?

Una de las cosas buenas de los reactores de fusión es que se pueden colocar cerca de la gente sin ningún tipo de riesgo. Estamos instalando muchos aerogeneradores en Gran Bretaña y eso está muy bien. El problema es que los vientos fuertes están en la costa escocesa, mientras que la electricidad se necesita en Londres, Manchester, Birmingham... Hay que instalar gran número de líneas eléctricas y subestaciones para poder llevar la energía de donde se produce hasta donde se necesita. Con la fusión podremos generar la energía cerca de los núcleos urbanos donde se necesite, sin riesgo alguno.

Acaba de mencionar la cantidad de combustible en el reactor. ¿Podría darnos una estimación comparada con otro tipo de central eléctrica?

Para un reactor del tamaño de ITER, 500 megavatios, estaríamos hablando de entre una y dos toneladas de combustible al año. Si piensas en las ventajas... No necesitas transportar nada radiactivo ¡y además te cabe en la parte de atrás de una camioneta! Mi laboratorio está junto a una central térmica de carbón no mucho más potente que ITER, y todos los días llegan dos trenes enteros de carbón, ¡dos trenes! Pasar de dos trenes al día a dos toneladas al año es un salto extraordinario.

¿Qué hay de los residuos?

El producto de la fusión es un átomo de helio y un neutrón. El helio no es radiactivo así que no es un problema y el neutrón lo utilizaremos en el futuro para generar más tritio a partir de litio en las paredes del reactor. Si colocamos litio en las paredes, al chocar un neutrón proveniente del plasma contra ellas partirá los núcleos en helio y tritio, que será usado más tarde para el proceso de fusión. Así que el residuo como tal es helio. El problema es que los neutrones pueden volver radiactivas las paredes de acero, suponiendo que sean de acero. Por ello estamos perfeccionando los materiales para minimizar este efecto. De todos modos, la radiactividad de estos materiales sería 1000 veces menor que la del plutonio residuo de las actuales centrales nucleares y su vida

media es de unos 10 años, con lo que en menos de 100 años pasarían a ser tan inofensivos como un trozo de carbón. Es casi perfecto.

Dejando la fusión a un lado, ¿cuáles considera que serán los avances científicos más importantes de esta primera mitad de siglo?

El tema que más me preocupa es la energía. Deberíamos profundizar más en la energía solar fotovoltaica porque podría representar una solución sólida para estos primeros 50 años. Tengo amigos trabajando en ese campo y me cuentan cosas verdaderamente prometedoras. Las líneas de alta tensión de corriente continua hechas de superconductores serían otro gran avance. El gran reto de los próximos 40 años es reducir el consumo de combustibles fósiles. Creo que nuestras vidas están siendo cambiadas por lo fácil que se ha vuelto manejar un ordenador y su implicación en la vida cotidiana. Otro asunto es lo referente a la información. En los primeros años de Internet estábamos frustrados porque pese a la gran cantidad de información que había, no había nadie para ordenarla y procesarla. Creo que en el futuro la información será mucho más simple, podremos saber de todo lo que queramos pero no seremos bombardeados continuamente con información irrelevante que ni tan siquiera nos interesa. Me encanta saber cosas, hechos, pero no quiero que me compliquen la vida con cientos de cosas que no necesito. Me gustaría ese futuro ¡Ah! Y creo que es necesario un gran salto en la tecnología de baterías.

¿Por qué baterías?

No podremos establecer un esquema energético como el que he mencionado antes si nuestras baterías son dependientes de un elemento raro y difícil de obtener. No hay tanto litio en la Tierra. No puedes sacar litio del agua de mar para usarlo en baterías, es demasiado caro. Hacerlo para la fusión es posible porque a partir de él obtenemos una enorme cantidad de energía. Para las baterías tienes que obtenerlo, por ejemplo, de sales de litio de los desiertos de Chile o Bolivia, y eso es más caro, difícil y escaso.

¿Necesitan la ciencia y los científicos más visibilidad en los medios?

Es curioso. Doy charlas en colegios de vez en cuando y si vieras a los niños de ocho años... ¡Les encanta! Están interesados en todo lo relacionado con la ciencia. Pero en algún momento entre los 12 y los 14 esto se acaba, no es “guay” estar interesado en nada y menos en la ciencia. “Seré un empollón y me llamarán raro si me interesa la ciencia”. Supongo que tenemos el reto de eliminar esos mitos y prejuicios. Hay una cosa que me parece importante y es la siguiente: yo soy físico teórico, pero soy hijo de ingeniero y siempre disfruté fabricando cosas. Opino que una vida pensando y fabricando cosas merece mucho la pena y es enormemente reconfortante. Cuando era niño mi ídolo era mi padre y a mi me encantaban los puentes. ¿Imaginas tener 75 años y conducir por un puente en cuyo diseño y construcción participaste? Debe ser tan gratificante. Cuando estoy en el laboratorio haciendo un experimento que hemos ideado y preparado, es tan gratificante hacer algo que te gusta y que sabes que es bueno para la gente. El problema es que creo que no sabemos transmitir eso a las nuevas generaciones. La profesión de ingeniero no está de moda. Las élites de mi país nunca han pisado una escuela de ingeniería, nunca han fabricado algo. Van a colegios de élite, después a universidades de élite para conseguir trabajos de élite y así sucesivamente. Pero nunca han sentido el placer de construir algo con sus propias manos. Además, a día

de hoy, muchos campos de la ingeniería son algo maravilloso, con sistemas y formas tan complejas que es prácticamente arte, una versión más sofisticada de arte. Probablemente a un artista no le guste demasiado mi definición pero yo la encuentro cierta.

¿Conoce la serie *The Big Bang Theory*?

¡Sí claro! Un buen amigo mío es uno de sus asesores científicos. Es profesor en la UCLA y todos los lunes va al estudio de grabación para ayudarles a escribir todas esas ecuaciones que aparecen en las pizarras de la serie.

¿Cree que programas de ese tipo humanizan a la ciencia y a los científicos o sólo acentúa su imagen de bichos raros?

Hay una cita famosa de **Oscar Wilde** que dice: “cualquier publicidad es buena publicidad”. No estoy muy seguro, pero yo encuentro la serie muy divertida y creo que a la gente le gusta. Hay un personaje que es extremadamente raro, muy “nerd” y eso es divertido, pero también hay otros más humanos y con los pies en la tierra. Creo que humaniza mucho a los científicos. Me gusta que *The Big Bang Theory* esté ahí y tenga éxito. No se si es así en España, pero en Reino Unido y Estados Unidos hubo una moda muy fuerte de culebrones basados en hospitales, porque un hospital da para mucho drama. Aún no he visto ningún culebrón basado en un laboratorio de física o una empresa de ingeniería. ¿Por qué? Estoy seguro de que también puede ser bastante dramático. Sin duda, humanizar a la ciencia y la ingeniería para acercar y despertar interés en la gente es algo muy bueno.