

50 ANIVERSARIO DE LA PILA DE FERMI

"El Forum Atómico Español y la Sociedad Nuclear Española no podían estar ausentes en la celebración del 50 aniversario de la experiencia de Enrico Fermi y su grupo de colaboradores en la pista de squash de la Universidad de Chicago el 2 de diciembre de 1942, logrando la reacción en cadena controlada o automantenida, como figura en la placa que conmemora el hecho en la Universidad." Con estas palabras, Francisco Vighi, Presidente de la SNE, daba la bienvenida a los asistentes a este homenaje a Fermi y sus colaboradores, que se celebró el pasado mes de diciembre en la Escuela de Ingenieros Industriales de Madrid y en el que, además de su intervención, contamos con la del Profesor Carlos Sánchez del Río y con la del Presidente del FAE, Alfonso Álvarez Miranda.



Francisco Vighi se dirige a los asistentes durante su intervención. A su derecha, Carlos Sánchez del Río y Alfonso Álvarez Miranda.

ENRICO FERMI Y LA FÍSICA DE SU TIEMPO

CARLOS SANCHEZ DEL RIO

Suelo iniciar mis intervenciones de una manera bastante protocolaria, diciendo señoras y señores, pero hoy tengo que decir, simplemente, queridos amigos,

porque somos tantos los que nos conocemos desde hace años que realmente más que una conferencia vamos a celebrar una reunión para meditar sobre un aniversario que nos ha afectado a todos, pero que ha afectado mucho más a

quienes no están aquí y no se dan cuenta. Hoy celebramos el cincuentenario del momento en que por primera vez se demostró la posibilidad de obtener energía nuclear en la Tierra en grandes cantidades. Y esto ha afectado a todos, en primer lugar, porque existen las centrales nucleares que han pasado por un período de rechazo que yo veo cada vez más próximo a finalizar. De hecho, tengo la esperanza de que las centrales nucleares, incluso en España, van a jugar un papel muy importante en el futuro, como está ocurriendo ya en otros países. El segundo efecto, el malévolo, las bombas atómicas, bien mirado ha resultado también favorable, si pensamos que hemos tenido paz durante cuarenta años de guerra fría gracias, probablemente, a las bombas atómicas. Si no, es muy improbable que Europa hubiese atravesado un período tan largo sin tener otra guerra. Luego, incluso en este aspecto, somos deudores a lo que ocurrió hace cincuenta años.

He pensado hablar sobre Fermi porque fue el director de este experimento de física que después pasó tecnológicamente a ser mucho más importante. El experimento tenía como objetivo probar si era posible o no una reacción en cadena; por tanto, un experimento de física, y, en consecuencia, voy a hablar de Fermi como físico.

Fermi fue un hombre que nació con la física moderna, en Roma, el 29 de noviembre de 1901 y murió bastante prematuramente, en Chicago, el 28 de noviembre de 1954. Su nacimiento se sitúa entre acontecimientos cruciales por lo que se refiere a la física moderna, que es la física de este siglo. Pocos años antes de su nacimiento, en 1895, Röntgen descubre los rayos X; al año siguiente, Becquerel, la radiactividad, y, en 1897, J. J. Thomson identifica el electrón, hechos que constituyen el paso de la física clásica a la moderna. Pero, si repasamos el período entre 1900 y 1905, encontramos que, en 1900, Max Planck establece por primera vez la idea de una cuantificación de la energía que es básica en el conocimiento de los átomos, moléculas, núcleos... En 1905 tenemos la gran campanada de la teoría de la relatividad de Einstein que ha servido, también, de guía para infinidad de investigaciones en este siglo. Por todo ello, además de afirmar que Fermi nació con la física moderna, añadiría que Fermi



Carlos Sánchez del Río

nació en el momento oportuno para un talento singular.

No participó, por su juventud, en la primera guerra mundial. Cursó sus estudios en Roma y Pisa, donde se licenció, en 1922. Como todos los físicos jóvenes brillantes, se interesó en principio por la física teórica, aunque luego hubo de evolucionar. Se desplazó a Göttingen, Alemania, que en 1922-23 era un lugar sumamente especial en Europa: se trataba del centro de la física teórica, debido curiosamente a que el gran matemático alemán Felix Klein insistió en hacer en Göttingen una gran escuela de matemática aplicada, cosa rara en los matemáticos puros como él. De eso proviene el que hubiera allí grandes figuras, como Max Born, que fue quien recibió a Fermi. Ignoro qué ocurrió en Göttingen a Fermi, pero no debió encontrar el ambiente que coincidía con su psicología, porque en 1924 volvió a Italia sin hacer grandes cosas. Dio algunas clases en Florencia y en el año 1927 era profesor de física teórica en la Universidad de Roma.

Por entonces tuvo lugar la revolución del siglo en la física: la mecánica cuántica, y ocurrió precisamente en Göttingen, por lo que él no participó, aunque posteriormente siguió muy de cerca su desarrollo. Efectivamente, en 1925, a Göttingen, para aprender de Max Born, llegó el joven Werner Heisenberg, que acababa de doctorarse en Munich de milagro, porque en el examen de doctorado tuvo buenas notas en matemáticas y física teórica, pero pésima nota en física experimental, hasta el punto de que Wien quiso suspenderle. Como resultado se le concedió la nota ínfima. El caso es que fue aceptado, y en mayo de 1925 tuvo la genial idea, propia de un hombre extraordinario, de pensar que, al existir tantos problemas en la explicación de los átomos con las órbitas que había introducido Bohr en 1913, había que renunciar a todo aquello que no se ve y hacer una

mecánica basada únicamente en magnitudes observables. A partir de ahí, y combinando las cosas observables, que, esencialmente, eran las líneas espectrales, llegó a la conclusión de que había que representar las magnitudes físicas no como se había hecho hasta entonces, sino por conjuntos de números que él escribió en filas y columnas sin saber muy bien lo que significaban, pero que su maestro, Max Born, identificó como matrices, puesto que la regla de multiplicación coincidía con la de las matrices. Actualmente, en todos los cursos de física elemental se explican matrices, pero entonces era sólo cosa de los matemáticos que únicamente conocía la gente muy culta, como Born. Este fue el principio de la famosa mecánica de matrices, completada más tarde por dos trabajos, uno de Max Born y otro de Pascual Jordan, en septiembre de 1925. Finalmente, en diciembre del mismo año, se publicó el trabajo de Max Born, Heisenberg y Pascual Jordan, conocido como "el trabajo de los tres hombres", donde se culmina una exposición magistral de una formulación de la mecánica cuántica. Este hecho enlaza con que Edwin Schrödinger, a principios de enero de 1926, basándose en ideas diferentes (las que aparecieron en la tesis doctoral de Louis de Broglie), hizo toda una nueva construcción, que entonces se llamó mecánica ondulatoria, en cuatro memorias magistrales publicadas en los primeros meses de 1926. Pronto se descubrió que las dos formas de tratar el mundo atómico eran equivalentes, y hoy las conocemos como mecánica cuántica, que todavía presenta problemas de comprensión y que algunos sabios que pueden permitirse el lujo de decirlo, dicen manejarla, pero no entenderla, un hecho que setenta años después sigue ocurriendo.

En aquella época se planteó la interpretación física de esta nueva mecánica, y así se llega a la interpretación de Copenhague, basada en tres descubrimientos o formulaciones: la primera es la interpretación probabilística de la función de onda, debida a Max Born (1926), que sirve para calcular; el segundo fue el principio de indeterminación, debido a Heisenberg (1927), que sirve para intuir lo que sucede cualitativamente —por cierto, en relación con este principio puedo recordar una triste anécdota protagonizada en Copenhague por Niels Bohr, que, muy intrasigente con quienes no compartían sus ideas, no aceptaba la formulación de Heisenberg y discutió con él de tal manera que éste, hombre joven en esa época, salió llorando del despacho de Bohr, eso sí, insistiendo en que tenía razón y publicó su trabajo—; como tercer aspecto, la contribución de Niels Bohr (1928) a la interpretación con su principio de complementariedad —partícula y onda son

aspectos complementarios, no contradictorios, y lo que ocurre es que en el mundo subatómico no podemos intuir como lo hacemos en el macroscópico porque nuestros conceptos de espacio y tiempo se derivan de las vivencias a nuestra escala y no son válidos en las inferiores—. Esta idea de Niels Bohr, del cual hablaré más adelante porque también intervino en los hechos que estamos celebrando hoy, es muy interesante, ya que, en su propia consideración, es lo más importante que hizo en su vida, y así, cuando le concedieron el título de Caballero y eligió su escudo de armas en el que se puede leer: *contraria sunt complementa*. Al respecto, un buen latinista amigo me comentó que el latinista danés no había estado muy acertado, puesto que debería haber escrito: *complementa sunt contraria*.

¿Qué hizo Fermi durante este tiempo? No contribuyó directamente, pero estuvo al tanto. En 1927, el año del principio de indeterminación y poco antes del principio de complementariedad, ya hace algo que le es muy característico: se acuerda del principio de Pauli, establecido en 1924 para ordenar las capas de los átomos, lo mezcla con la mecánica cuántica que ha estudiado y desarrolla una de las contribuciones más importantes desde el punto de vista de la física pura, la "estadística", que posteriormente se llamó "estadística de Fermi-Dirac", válida para electrones y para otras muchas partículas que hoy llamamos fermiones. He aquí un hecho importante, el nombre de Fermi ha pasado para siempre a la física para designar una gran clase de partículas que se describen por una función de onda antisimétrica, incluido el spin, mientras la otra gran clase de partículas, los bosones, deben ser descritas por una función de onda simétrica. Hoy sabemos que los fermiones se corresponden con partículas de spin semientero y los bosones con partículas de spin entero. Sabemos más: los fermiones, por así decirlo, son más materia y los bosones más radiación. En un lenguaje más coloquial, los fermiones son partículas más individualistas —donde está uno no puede haber otro— y los bosones son partículas más colectivistas —donde está uno atrae a los demás—. Esta primera contribución de Fermi en 1927 ha pasado a la historia porque la palabra fermión está en todos los libros de física y también porque cualquier estudiante de Teoría de Sólidos encontrará en muchas páginas el "Nivel de Fermi", energía máxima que ocupan los electrones a temperatura nula una vez que han ocupado todos los niveles inferiores.

Esta primera contribución fue aplicada por él mismo inmediatamente a un modelo del átomo que se conoce con el nombre de "átomo de Thomas-Fermi", porque, en Inglaterra, Thomas también

hizo su contribución. La característica de este modelo es típica de lo que siempre fue Fermi, fundamentalmente la sencillez: Fermi tuvo siempre una intuición física muy rara de encontrar en otros físicos; no le importaba tanto la precisión. El modelo de Thomas-Fermi no sirve para hacer cálculos precisos, pero da una visión muy general de cualquier tipo de átomo y se puede calcular con facilidad. En Roma todavía, a partir de 1930, Fermi forma un grupo integrado por personas que merecen ser mencionadas aquí; importante porque supone el revivir de la física italiana. De hecho, la física italiana, que había tenido grandes figuras, como Galileo o Volta, cuya pila es el origen de toda la electricidad y permitió desarrollar la electrodinámica, el electromagnetismo, los motores eléctricos, la radio..., está aletargada a lo largo del siglo XIX. Encontramos a Melloni, que estudió la radiación térmica; Mossotti, que trabajó en dieléctricos; a Marconi, con el desarrollo de la radio, y a Giorgi, con el Sistema de Unidades; pero no hay mucho más. Por el contrario, Fermi, con su Grupo de Roma, reúne por primera vez un equipo sensacional integrado por Amaldi, Majorana, Segré, d'Agostino, Cacciapuoti y Pontecorvo.

Me gustaría hacer un esbozo de cada uno de estos personajes. Amaldi fue, una vez que Fermi se marchó a Estados Unidos, el Papa de la física italiana. Desde los años 40 hasta su muerte, nadie movía un dedo en Italia sin contar con Amaldi. Yo trabajé con él en 1948, en Roma, donde siguió siendo una figura muy importante.

Majorana era el más inteligente de todos, probablemente incluso más que Fermi en aspectos teóricos. Majorana terminó su vida de una manera trágica que nunca han querido explicar. Era un siciliano muy inteligente, que un día que volvía a Sicilia, se embarcó y nunca llegó a Palermo. Ignoro si se suicidó, porque cada vez que pregunto a físicos italianos hablan de la tragedia sin más. Era un hombre brillantísimo y las pocas contribuciones que hizo a la física fueron muy notables.

Segré estuvo en Estados Unidos y se le concedió el premio Nobel por el descubrimiento del antiprotón, años después, al estar en Berkeley en el momento en que se construyó el acelerador de suficiente energía.

D'Agostino, que era mayor, quizá de la edad de Fermi, fue a Estados Unidos, pero no realizó contribuciones importantes a la física.

Por otro lado, en los artículos que publicaban sobre los neutrones figuraba siempre Cacciapuoti, así que me interesé por saber quién era. Pues bien, era un "frescales" que nunca hizo nada. Iba por el instituto de vez en cuando y —era muy listo— acertaba siempre a llegar

cuando estaban preparando la publicación de un trabajo e insistía en que le pusieran como coautor. Aunque en principio se negaban, por no discutir acababan por incluirle.

Por último, está Bruno Pontecorvo, un físico muy notable que fue famoso por padecer un "virus" muy frecuente en los años 30: ser fanáticamente comunista, hasta el punto de que se convirtió en espía ruso. Desapareció un día del mundo occidental y apareció en Rusia, donde tuvo que marcharse por este motivo.

Este era el grupo que rodeaba a Fermi en Roma hacia 1930-31: un grupo teórico-experimental.

Fermi estaba muy al tanto de las novedades que ocurrían, siendo una de sus características la gran visión de los problemas del futuro, cosa muy importante, porque hay personas que saben cómo resolver un problema, pero que no saben encontrarlo. En física es tan difícil identificar un problema como solucionarlo, y Fermi tenía esa visión. En 1932, Chadwick descubre el neutrón y, en 1934, Joliot e Irene Curie (la hija de Madame Curie) descubren la radiactividad artificial. Fermi combina ambas cosas, de tal manera que, en el año 34, junto con sus colaboradores, comienza a hacer radiactividad artificial mediante activación por neutrones, lo que se podía realizar sencillamente porque todo lo que necesitaban era lo que nosotros hemos utilizado de jóvenes: una fuente de radio-berilio de neutrones.

Fermi descubre muchas cosas y muy interesantes. Lo primero es que la activación de muchas sustancias por neutrones es mayor si se utilizan neutrones que han atravesado parafina, y pronto descubre que más barato aún es meter los neutrones en agua. Esto que sabemos de sobra y parece trivial, en 1934, evidentemente, no lo era. Así identifica que los neutrones térmicos son más efectivos para provocar la activación que los rápidos, términos que no se empleaban entonces; es Fermi quien introduce esta nomenclatura y descubre que lo que está ocurriendo es que los neutrones, al chocar con el hidrógeno del agua o de la parafina, van perdiendo energía, difundiéndose al final. Efectivamente, es en Roma donde hace las dos teorías relativas a los neutrones, que son las más sencillas e intuitivas: para la moderación inventa la trivialidad de la edad, es decir, un neutrón es tanto más lento cuanto más viejo, fórmula con la que se calcula bien, pero no de forma muy exacta. Después aplica la teoría de la difusión y descubre lo que hoy llamamos ley $1/v$ para la sección eficaz. Este es uno de los grandes trabajos de Fermi con sus colaboradores en Roma en 1934.

Antes de seguir adelante quiero comentar un par de cosas que Fermi lleva a

cabo. En primer lugar, en 1932 publicó un artículo no estrictamente original, pero que nos ha servido a todos en su día. Se trata de una teoría cuántica de la radiación no covariante muy sencilla. En general, la teoría cuántica de la radiación, que había empezado ya Dirac en el año 1928, se caracterizaba por su complejidad matemática, y Fermi siempre huyó de estas complejidades; de tal manera que ésta fue una formulación muy simple, basada en la cuantificación de un caso especial, pero suficiente para llegar a la fórmula final correcta, ya que Fermi siempre quería lograr esa fórmula final de la forma más rápida y sencilla posible. De hecho, además de la sencillez, utilizó un truco que empleaba siempre. Hay una fórmula en la teoría de perturbaciones dependientes del tiempo que da la probabilidad en primer orden, y que es, esencialmente, el producto del cuadrado del elemento matriz por la densidad de los estados finales, fórmula que usaba siempre, hasta el punto que, en sus clases posteriores en Chicago la llamaba la "regla de oro", pero esto ha pasado a la historia y es utilizada por nuestros estudiantes actuales como la "Regla de oro de Fermi", lo que no es cierto, porque Fermi nunca la inventó, sino que la denominó así y él la aplicaba para todo. Como ejemplo, en 1934, Fermi hizo una primera teoría de la desintegración beta. Existía el problema de la aparente no conservación de la energía en la desintegración beta, que se había resuelto con la idea de Pauli de que junto al electrón había una partícula no detectada —que era el "neutrino"—, y Fermi realizó una teoría aplicando la famosa regla. Aquí introdujo la palabra neutrino, que, obviamente, es de origen italiano, porque Pauli no le había dado nombre, sino que fue Fermi quien la denominó así. Interesa resaltar esto porque —ya he hablado antes de Majorana— Fermi enseñó esta teoría a Majorana, que era la única persona a la que Fermi respetaba mucho, pero éste la miró con el mayor desprecio y le dijo, en italiano: "Teorías de éstas hago yo una cada tarde." Resulta, sin embargo, que la teoría es correcta, y es, esencialmente, lo que hacemos ahora, aunque de forma más complicada, con pasos intermedios. Curiosamente, Fermi envió la teoría a la revista *Nature*, que se la rechazó por creer que carecía de interés para sus lectores. La publicó en una revista italiana de poco fuste y haciendo algo que a él no le gustaba: vistió la teoría con cálculos matemáticos muy complicados que aborrecía y así la remitió al *Zeitschrift für Physik*, donde apareció al fin. Esto tenía lugar en 1934.

La fama de los experimentos de Fermi fue suficiente como para que en 1938 le concedieran el premio Nobel, que acudió a recibir en Estocolmo. Dicho premio

le fue otorgado por dos motivos, uno justificado y otro no. El primero, por los estudios realizados sobre los neutrones térmicos, y, el segundo, por un descubrimiento que no era tal. Entre los muchos experimentos de Fermi se le había ocurrido irradiar el último elemento del sistema periódico: el uranio. Se encontró con que había más cosas y dijo que había descubierto algo que denominó uranio X, que era un elemento trasuránico, lo que no era verdad. De hecho, produjo neptunio y plutonio, pero éstos fueron identificados sólo en 1940, el neptunio por McMillan y el plutonio por Seaborg. Estamos en 1938, y hay que recordar un poco la historia de Europa. Cuando Fermi terminó la carrera, en Pisa, en el año 1922, era un mes antes de la marcha sobre Roma de Mussolini, momento de la introducción del fascismo. En 1938 estaba España en plena guerra civil y, los que somos más viejos nos acordamos, existía el acuerdo de Munich, la intención de Negrín de prolongar la guerra (perdida por su parte), pero prolongarla como fuera para poder empalmar con la guerra mundial, la invasión de Checoslovaquia... Ante esta situación, Fermi, cuya mujer, Laura, era judía, temiendo que el antisemitismo germánico pasase a Italia, como efectivamente ocurrió, aunque de modo más suave, se marchó a la universidad de Columbia, en Estados Unidos.

El 22 de diciembre de 1938, en Berlín, Otto Hahn, con su colaborador Strassman descubre la fisión del uranio. En este punto voy a hablar un poco de historia, aunque me siento más seguro cuando hablo de física, porque en estos momentos puedo equivocarme. A partir del descubrimiento de la fisión del uranio se producen los acontecimientos como si de una novela de aventuras se tratase, y que, probablemente, muchos de vosotros conocéis mejor que yo, pero que, en cualquier caso, os voy a relatar. Una colaboradora del radioquímico Hahn, Lise Meitner, judía que como tal tuvo que irse a Estocolmo, tenía un sobrino, Otto Frisch, que trabajaba en Copenhague con Niels Bohr y que había ido a pasar las Navidades con su tía. Entre los dos calcularon inmediatamente que se tenía que desprender una gran cantidad de energía, unos 200 MeV —esto ya se sabía calcular entonces—, y tan pronto como Frisch volvió a Copenhague le comunicó el descubrimiento a Bohr, que estaba invitado a dar conferencias en Estados Unidos, de tal manera que poco después de Navidades se fue a este país y, el 26 de enero, en Washington, tras algo más de un mes, comunicó el descubrimiento de Otto Hahn en cuanto a la fisión del uranio. Dos días después, el 28, Otto Hahn publica un segundo artículo pensando que, como en los elementos centrales del sis-

tema periódico hay menos neutrones que en los finales, se producirán neutrones en la fisión y será posible una reacción en cadena y, como consecuencia, una bomba o un reactor. Esto lo propone el 28 de enero de 1939.

Los neutrones fueron detectados entre marzo y abril por dos grupos diferentes: en París, Joliot, Von Halban y Kowarski; en Estados Unidos, Fermi y Szilard. Había neutrones, y la energía tenía que ser muy grande, y, por tanto, cada vez parecía más posible la utilización de esta energía de forma masiva. Pensad en una particularidad: estamos en abril del 39, y con la guerra en puertas no podían estar ausentes las posibilidades militares de su aplicación. De hecho, hay una curiosa coincidencia: el 26 de abril se reúne, en Londres, el Comité de Defensa británico y lo primero que hace es pedir al Foreign Office que trate de apoderarse de todo el uranio que había en Bélgica, donde había llegado como consecuencia de la explotación de la peblenda en el Alto Katanga, territorio de su colonia del Congo Belga. El fin de esta explotación era extraer el radio, que posteriormente se utilizaba en los hospitales y, consecuentemente, el uranio de residuo se almacenaba. Como decía, el 26 de abril, los británicos piden este uranio y el 29, tres días después, hay una reunión de científicos en el Ministerio de Educación, en Berlín, que pide a su gobierno que se incaute de todo el uranio que hay en Checoslovaquia, donde estaban las famosas minas de las que procedía la peblenda con la que trabajó Madame Curie a finales del pasado siglo. Como se puede observar, con diferencia de días, ambos países iban por el mismo camino.

Mientras tanto, Niels Bohr, tan celebrado por sus contribuciones a la física teórica y a la filosofía, había hecho cálculos y sugerido que, probablemente, con neutrones térmicos el único núcleo que se fisionaba era el uranio 235 y no el 238, como consecuencia de la teoría se-

miempírica de Von Weizsäcker que él conocía muy bien y creía que se podía aplicar.

El 2 de agosto de 1939 entran en escena los Estados Unidos, porque los científicos, que entonces tenían menos prestigio del que, tal vez indebidamente, gozamos ahora, no tenían acceso a los políticos y convencen a Einstein para que escriba la que, posteriormente, fue famosa carta a Franklin Delano Roosevelt, anunciándole la posibilidad de hacer una bomba con el nuevo método basado en los recientes descubrimientos. Roosevelt toma en serio esta proposición (hay que tener en cuenta que el 1 de septiembre, con la invasión de Polonia, se inicia la guerra) y, en octubre, la Sociedad Americana de Física, dando un ejemplo de patriotismo, recomienda —no puede hacer otra cosa— a todos los físicos americanos que no publiquen más trabajos sobre el uranio. También en octubre, Roosevelt creó un Comité Consultivo del Uranio que después, en junio del 41, incorporó al National Defense Research Committee que dirigía el matemático aplicado Bush junto a Conant, un químico eminente. Los dos fueron asesores del presidente de los Estados Unidos para coordinar la investigación sobre defensa antes de la entrada de este país en guerra.

Una vez que los japoneses atacaron Pearl Harbour, el mencionado Comité encargó al gran físico Arthur Compton, muy famoso ya entonces, que formara en Chicago lo que inicialmente se llamó el Metallurgical Laboratory que, finalmente, empezó a funcionar en marzo del 42, transfiriendo a Fermi con todos los experimentos que había hecho. Eran dos los objetivos: por una parte, ver si era posible una reacción en cadena, responsabilidad de Fermi; por otra, estudiar la forma de extracción del plutonio de un futuro reactor, si fuera posible, responsabilidad de Seaborg.

En junio del 42 se cambia todo. Los resultados son tan prometedores que se

Vista general de los asistentes a la Conferencia.



tiene conciencia de estar ante un programa de gran envergadura, y el gobierno de los Estados Unidos, bien asesorado por estos dos científicos, Bush y Conant, decide que el tema es demasiado importante para un equipo tan reducido, que van a ser necesarios proyectos de gran envergadura industrial y, como consecuencia, es nombrado responsable el general de ingenieros, Groves, de un nuevo proyecto en el que se iban a gastar millones de dólares—luego fueron miles de millones— y que se llamó Manhattan Project. Históricamente es el momento (1942) en que el poderío alemán empieza a declinar: en el cerco de Stalingrado se rinde el cuerpo del ejército de Von Paulus y el mariscal Rommel es detenido a las puertas de Alejandría.

Fermi trabaja en Chicago con su reactor de uranio y grafito. Ya sabía que Bohr tenía razón al establecer que la fisión se podía conseguir con el U235 y con neutrones térmicos que había que moderar. También sabía, por sus investigaciones anteriores en Columbia, que lo mejor era una mezcla heterogénea y que se tenía que moderar con grafito porque no tenían agua pesada, y, continuando con sus estudios, llegó a la conclusión de que era posible esa reacción en cadena controlada, con lo que empezó, en condiciones bastantes precarias, la construcción de su pila. Además de no tener agua pesada, no tuvieron bastante uranio metálico, por lo que se tuvieron que conformar con poner el uranio metálico en el centro y en la periferia óxido de uranio. Así se construyó técnicamente la pila en los West Stands del Stagg Field de la Universidad de Chicago.

El 2 de diciembre pusieron a funcionar la pila, y a este respecto se pueden contar curiosas anécdotas. Por ejemplo, varios colaboradores de Fermi estaban sobre unos tabloncillos con garrafas llenas de sales de boro y con grandes martillos por sí, en el caso de que no funcionara, a base de martillazos tuvieran que provocar una inundación de boro que parase el experimento. No se llegó a esta situación de gravedad porque conocían los neutrones retardados. A las 15,45 horas se extrajo la barra y, por primera vez en la tierra, se produjo energía atómica. Es conocido el curioso telegrama que envió Compton, en clave, diciendo que "el navegante italiano ha llegado al Nuevo Mundo".

Fermi siguió colaborando, también en Chicago, en la construcción del reactor plutónigeno de Hanford. Tuvo un tremendo atrevimiento al pasar de un experimento de laboratorio a un reactor de cientos de megavatios de potencia... y tuvieron problemas. El reactor de Hanford empezó a funcionar en septiembre de 1944, lo que demuestra la enorme eficacia industrial que ya entonces tenían los Estados Unidos, y en 1945 ya



Enrico Fermi

disponían de plutonio. El reactor tuvo una parada por envenenamiento de xenon inmediatamente identificado por Wigner. Desde aquí, Fermi se marcha a Los Alamos para trabajar en secreto. Nadie sabe lo que allí hizo, aunque se cuentan muchas anécdotas, pero son de tipo personal. Estuvo allí hasta la primera explosión de una bomba atómica en el desierto de Alamo Gordo, el 16 de julio de 1945 a las 5,30 horas. Se cuenta que todo el mundo estaba nervioso y nadie durmió aquella noche. Nadie menos él, que se fue a dormir diciendo: "Si explosiona, es lo que esperamos; si no explosiona, es que es imposible."

Otra anécdota se refiere a su capacidad de cálculo. Si la bomba explotaba, había que calcular su potencia, y los que conocéis la eficacia con que se trabaja en Estados Unidos imaginaréis la cantidad de sensores, de detectores de presiones, de temperatura, en fin, todo lo imaginable que se puso por todas partes para calcular esta potencia. Pues bien, a la hora de la explosión todos los científicos, y Fermi con ellos, estaban situados en un puesto de observación con gafas oscuras. En el momento oportuno, Fermi dejó caer un papel que llevaba al efecto que se llevó el viento: ya había hecho sus cálculos; con ese movimiento calculó la potencia de la bomba y acertó dentro del 50%. A este tema volveré porque una de las características de Fermi era su maestría en las estimaciones.

Para terminar la historia de la bomba, todos recordáis que Roosevelt murió en abril del 45 y subió al poder Truman, quien tomó la decisión, en junio, de utilizar esta nueva arma, y, efectivamente, la primera fue lanzada sobre Hiroshima a las 8,15 del 6 de agosto de 1945 y tres días después la de Nagasaki. Lo que tal vez algunos no recuerden, típico de la política de Estados Unidos, es que, cuando subió al poder Truman, lo primero que tuvieron que hacer fue ponerle al corriente de este proyecto que, como vi-

cepresidente, no conocía. Sólo era conocido por el presidente, el general Groves y pocos más, porque la política seguida fue que las personas que fueron a Los Alamos no hicieron con sus familias y de allí no salieron hasta después de la guerra.

Con el fin de la contienda, Fermi y sus colaboradores se ofrecieron a distintas universidades. Llegaron a un acuerdo con la universidad de Chicago, con la que hicieron un contrato que conviene recordar cuando ahora nuestros jóvenes se quejan de las condiciones de trabajo; para tres trimestres, que era lo que le pagaban. El cuarto trimestre trabajaba como asesor en Los Alamos. En el Argonne National Laboratory, al lado de Chicago, había un reactor, el famoso CP-3, donde hizo estudios y descubrimientos interesantes sobre difracción de neutrones. Fue pionero en muchos aspectos: en Los Alamos tenían el computador más potente de la época—con la centésima parte de potencia de cualquiera de los que hoy podemos adquirir en cualquier tienda—, un MANIAC, con el que empezó lo que ahora es un trabajo famoso, la simulación. Hizo un trabajo muy interesante que se publicó después de su muerte sobre simulación de choques en un gas. Durante varios años se dedicó a dar los cursos más variados: explicó termodinámica, mecánica, electromagnetismo, mecánica cuántica, en fin, todo, con lo cual estaba siempre al día. Publicó interesantes libros, como el famoso sobre física nuclear del año 1948, que ha sido válido durante muchos años; otro muy interesante sobre mecánica cuántica; hizo algunos trabajos teóricos de menor cuantía entre el 1947 y el 1951 mientras esperaba la construcción de la máquina mayor del mundo: el Sincrociclotrón de 450 MeV, que empezó a funcionar en la primavera del 51. Le interesaba entrar en un nuevo campo: los neutrones eran suficientemente conocidos y, en Europa, en rayos cósmicos se habían descubierto los mesones μ y π , que, por cierto, él les cambió el nombre por muones y piones. En este sincrociclotrón hizo la última contribución importante a la física: descubrió, por primera vez, una resonancia. Lo consiguió irradiando protones con piones.

En su honor, después de su muerte, se dio su nombre a un elemento químico: el fermio, de símbolo químico Fm.

Diré dos palabras sobre la personalidad de este hombre. En el aspecto físico, no era muy alto, era fuerte, ancho de hombros, moreno, de noble cabeza, como un busto romano. En cuanto a sus cualidades científicas, la primera fue su versatilidad: era capaz de calcularlo todo. No tuvo una idea revolucionaria, como tuvieron Einstein o Heisenberg, pero fue más versátil que todos los científicos de

su época. Fue, además, un físico completo, teórico, experimental y hasta se puede decir técnico. Le caracterizaba, además, su claridad de mente, aunque no era rápido, tenía que pensar; listo como un rayo, tenía la capacidad de ver problemas que nadie observaba: identificaba de inmediato los problemas. Tenía un gran sentido físico, descomunal, por eso le encantaban las explicaciones teóricas sencillas: los argumentos semiclásicos, tan despreciados por los puristas y los rigurosos. Para él, lo importante era llegar a una fórmula que le permitiera calcular un número de la forma más rápida y más corta. Era maestro en estimaciones semicuantitativas, aspecto en el que imbuyó a sus discípulos y que yo pude aprender en Roma y pude utilizar, posteriormente, con mis alumnos. No tenía, por el contrario, ningún respeto por el rigor matemático y tampoco era aficionado a la bibliografía: le aburría leer, prefería asistir a seminarios; con lo que

le explicaban y su cabeza le bastaba. Tampoco le interesaban las teorías generales abstractas. Su limitación era que sólo le interesaba la física y un poco el deporte. No tenía inquietudes por cuestiones filosóficas, religiosas o políticas, incluso irritaba, a veces, a científicos propensos a ser de izquierdas, cuando les decía, refiriéndose a los fascistas italianos: "Pues a mí nunca me hicieron nada." Evidentemente, lo decía para irritarlos, porque él era muy lejano a esas ideas.

Como conclusión, Fermi ha sido uno de los grandes de este siglo por la variedad. Que quede su memoria imborrable en los libros de física elemental, donde aparecen los fermiones, el Nivel de Fermi y otras palabras que él inventó: los neutrinos, los muones, los piones... Y abrió la puerta a la energía nuclear hace cincuenta años. Gracias por vuestra atención.

tentación de establecer un cierto parangón entre los dos acontecimientos.

Ambos ofrecen a la Humanidad un mundo nuevo que es preciso conquistar y sobre el que hay que construir, descubriendo sus misterios y haciendo fructificar sus riquezas.

Resulta curioso conocer cómo Arthur Compton, miembro de ese equipo, Premio Nobel, que fue testigo de la divergencia de la pila de Fermi aquel 2 de diciembre de 1942, dio la noticia a Washington.

Compton, hombre, por cierto, de una gran integridad moral, que dedicaba una parte de su tiempo a la causa de la unificación de las iglesias, telefoneó a su colega James Conant, uno de los responsables en Washington del esfuerzo atómico americano y le dijo textualmente:

"Estoy seguro que le gustaría saber que el navegante italiano acaba de desembarcar en el Nuevo Mundo", a lo que Conant contestó preguntando: "¿Qué tal se portaron los nativos?", y la respuesta fue: "Muy amistosamente".

No cabe duda que ese diálogo y sobre todo la forma de comunicar el gran descubrimiento componen una hermosa comparación que hoy se convierte en curiosa coincidencia.

Aquella noticia de Compton iba a iniciar una nueva era.

La energía contenida en el mundo de lo infinitamente pequeño podría ser aprovechada.

Y la sociedad recibía la buena nueva con el mismo ilusionado entusiasmo con que la Corte de Castilla recibiría el regreso de Colón, que mostraba a los asombrados ojos de los castellanos las pruebas de cuantas maravillas cabía esperar en las nuevas tierras descubiertas. Pero la historia del impacto de la energía nuclear en la sociedad es menos sencilla y más perturbadora que la historia del descubrimiento de América.

Empezando porque no es fácil encontrar una explicación razonable al fenómeno de la aceptación o del rechazo de la energía nuclear por la sociedad tecnificada del siglo XX.

Uno recuerda aquella sentencia de un pensador francés, ilustre politécnico, cuando decía que muchas teorías bien elaboradas fracasan porque se basan en el supuesto, erróneo, de que el hombre es un ser razonable.

En la aceptación de los grandes descubrimientos, el hombre siempre ha sentido un primer movimiento de prevención, de rechazo, o por lo menos de duda, sobre todo cuando aceptarlo suponía una rotura o alteración de costumbres, un abandono de sistemas ya conocidos, o incluso un probable perjuicio de intereses.

Hay una inercia del espíritu, tan fuerte o más que la inercia material que explica la Física.

ENERGIA NUCLEAR Y SOCIEDAD

ALFONSO ALVAREZ-MIRANDA

Hay que alabar esta iniciativa de la SNE de querer conmemorar, sin alharacas, sino desde la serenidad y la reflexión, los 50 años que hoy se cumplen de la primera reacción nuclear en cadena, conseguida por el equipo de Enrico Fermi en una, más bien modesta, instalación situada debajo de las gradas del estadio de fútbol de la Universidad de Chicago y cuyos aspectos científicos y técnicos han sido expuestos por las dos personalidades que me han precedido en el uso de la palabra.

Enfocar un acontecimiento de esta importancia desde el punto de vista científico, como lo ha hecho magistralmente el Profesor Sánchez del Río, y desde la consideración tecnológica, como lo ha hecho el Presidente de la SNE, Don Francisco Vighi, con singular acierto, permiten ofrecer en su conjunto una visión muy clara de lo que fue el nacimiento, el desarrollo y las perspectivas de la fisión nuclear.

Pero quizá esta visión queda como contenida en un plano sólo accesible a una minoría. En cierto modo, es para la sociedad, que en definitiva es la destinataria de las consecuencias, una visión de dos dimensiones, ciencia y tecnología, que me pareció debería ser completada con una tercera dimensión: la social, la humana.



Alfonso Alvarez Miranda

Con lo cual, el hecho de la pila de Chicago, ya en tres dimensiones, puede adquirir volumen y presentarse, por consiguiente, de modo más completo, con luces y sombras, ante una sociedad que ha acogido el gran descubrimiento en una escala de percepción que va desde el entusiasmo inicial al recelo presente, haciendo de la energía nuclear uno de los grandes temas polémicos del siglo XX.

Al evocar la pila de Fermi hoy, en 1992, cuando se celebra el V Centenario del Descubrimiento de América, se siente la

Una inercia que se opone, inconscientemente, a la aceptación de nuevas ideas, sobre todo cuando éstas tienen una carácter casi revolucionario que rompe esquemas anteriores.

La aparición de un adelanto técnico que afecte a costumbres establecidas, o exija un esfuerzo de adaptación a nuevas situaciones, tropieza, desde siempre con una resistencia social que se opone a las nuevas fórmulas. En esa resistencia subyace el miedo a lo desconocido, el temor ante lo no experimentado y a sus consecuencias que generalmente se consideran imprevisibles.

Y ello afecta, no sólo a la masa social menos cultivada, sino también a niveles de cierta talla intelectual y científica.

Dos botones de muestra.

Cuando a principios del siglo XIX, el ferrocarril era saludado como la gran solución del transporte, la Academia de Ciencias y Arte de París, exactamente en 1829, publicaba un informe donde se leía que "la máquina de Stephenson es un artefacto criminal y la Academia propone su inmediata prohibición en Francia". Pocos años después, en 1836, el físico Arago, que hoy tendría la categoría de un Premio Nobel, aseguraba al hablar de los riesgos del ferrocarril que "el humo matará a los vegetales y asfixiará a los pájaros. En los campos atravesados por la vía férrea se pudrirán las patatas y los hombres morirán asfixiados por los vapores de azufre. Las locomotoras incendiarán las casas y las cosechas y la velocidad cegará a los viajeros". Sin comentarios.

Un segundo ejemplo se encuentra en la curiosa historia de la construcción del alcantarillado de París, cuyo proyecto fue tan duramente combatido, que su ejecución se retrasó nada menos que 20 años.

Cuando en 1882 las autoridades de la ciudad quisieron abordar el cambio de sistema, la evacuación de eso que con cierta elegancia dialéctica pudiéramos llamar residuos fisiológicos, se realizaba mediante una recogida domiciliaria, a cargo de un colectivo o gremio que se encargaba de la tarea, ingrata, pero bien remunerada.

El pretendido cambio por un sistema de alcantarillas, que ya había probado su eficacia en otras capitales europeas, fue recibido, según un periódico de la época, "con un estremecimiento de horror y repugnancia", dando lugar a una polémica que duró 20 años, en la que nada menos que una personalidad como Pasteur era uno de los oponentes al nuevo sistema.

Examinados estos dos ejemplos, con la perspectiva que da el tiempo transcurrido, se encuentran tres factores que los explican y sirven además para analizar y comprender la actitud de la sociedad de hoy ante la energía nuclear.

Un primer punto es la apreciación subjetiva (a veces maliciosamente inducida) del riesgo, que conduce a una supervalorización del riesgo imaginado que introduce la innovación y una minusvaloración del riesgo real que existe en lo ya conocido.

Así, en el caso de París, se tomó demasiado en consideración el miedo a las epidemias que podrían aparecer en caso de un funcionamiento defectuoso del nuevo sistema y no se valoró el riesgo, infinitamente mayor, que surgía al no disponer de alcantarillado.

Un segundo factor está representado por las consecuencias económicas. La supresión de la recogida domiciliaria perjudicaba a los propietarios de los terrenos donde se realizaban los vertidos y, por otra parte, los propietarios de las casas temían, con razón, que el nuevo sistema diese lugar a un considerable aumento del consumo de agua, elemento muy caro situado en los domicilios del París de entonces.

Finalmente, juega también el factor político o si se quiere político-social, ejercido en este caso por el gremio de los recogedores domiciliarios, gremio poderoso por la naturaleza y necesidad de sus servicios, que se oponían al nuevo sistema, ya que ello significaba la desaparición de su medio de vida. Su influencia fue decisiva en esa prolongación del conflicto durante 20 años.

En el fondo, esos tres factores: apreciación indebida del riesgo, economía y política, siguen siendo los componentes actuales de la actitud social ante el problema nuclear.

Lo que ha variado, modernizándose, es eso que podríamos llamar el ambiente o si se quiere el escenario, dentro del cual aparecen ahora dos circunstancias nuevas.

Por un lado la existencia de una sociedad más tecnificada y, por tanto, más receptiva a la innovación, pero también más exigente en la explicación.

Por otro lado, la enorme y creciente influencia de los medios de difusión.

La tecnificación de la sociedad tiene un aspecto negativo que es necesario reconocer cuando se quiere analizar el tema nuclear.

Es la existencia de lo que pudiéramos llamar "la duda tecnológica", que nace en la mente del ciudadano medio que por razones de necesidad, de hábito o de comodidad, utiliza medios como la máquina de calcular, el televisor o el avión, cuyo funcionamiento no comprende.

Hay, sin duda, una gran distancia entre el nivel de tecnología que hoy se pone al alcance de ese ciudadano y el nivel de conocimiento o de cultura científica de esa misma persona.

Y esto engendra un sentimiento de con-

fusión y de desconfianza: "la duda tecnológica".

Porque el hombre desconfía y teme aquello que no comprende y más si tiene la sensación de que ese desconocimiento pone su modo de vivir, o su existencia, en manos de un tercero. Sólo la costumbre y la constatación práctica de la lejana probabilidad del riesgo, puede vencer y no del todo, ese sentimiento. Vencerlo viene a ser como el paso desde la desconfianza irracional a la aceptación resignada, pero consciente.

Y ese puede ser el objetivo final para atacar el conflicto entre sociedad y energía nuclear.

¿Cuál es el balance de la energía nuclear al cumplirse los 50 años de la primera reacción en cadena?

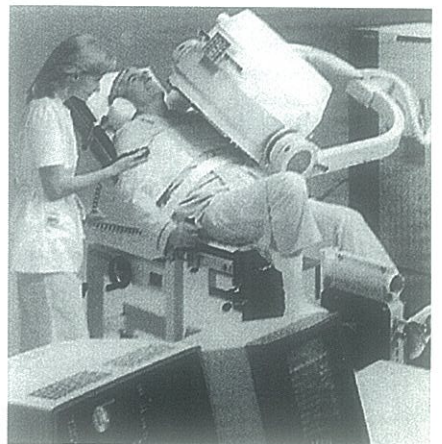
A grandes rasgos, aquel descubrimiento infelizmente manchado por el pecado original de la bomba atómica que presidió su nacimiento, puede presentar en su descargo ante el hombre de hoy un conjunto impresionante de logros que contribuyen eficazmente a mejorar la existencia, es decir, a lograr que el hombre viva más y que viva mejor.

Así, la producción de electricidad de origen nuclear representó en 1991 nada menos que el 17% de la producción mundial y ello se debió al correcto funcionamiento de 420 reactores de potencia distribuidos en 26 países de muy diversa situación geográfica y de diferentes características en cuanto a riquezas naturales u organización político-social.

De este modo, la energía nuclear hace una importante aportación a la pureza ambiental, el gran problema de nuestros días, al evitar el consumo de cantidades importantes de combustibles fósiles.

Se calcula que desde 1973 la producción de electricidad por vía nuclear ha evitado la emisión a la atmósfera de unos 13.400 M. de Ts. de CO₂ y casi 70 millones de Ts. de SO₂.

Aplicación de radisótopos a la medicina.



En la aventura espacial que ha sido el gran logro del siglo XX, la energía nuclear ha tenido mucho que ver como aporte energético en los vehículos lanzados al espacio exterior. Y la irradiación de alimentos hizo posible asegurar la alimentación de los astronautas.

Muchas estaciones meteorológicas o de observación emplazadas en el espacio o en lugares terrestres difícilmente accesibles, como en la Antártida, funcionan gracias a la energía nuclear.

En la industria, las técnicas nucleares son ya un apoyo imprescindible para asegurar el control de calidad de los materiales, la perfección de las soldaduras o los espesores de recubrimientos especiales como pueden ser el estaño o el aluminio.

La contribución nuclear a la conservación de la salud humana es tan importante que ha hecho aparecer todo un nuevo cuerpo de doctrina: la Medicina Nuclear, es decir, la especialidad médica que utilizan los radioisótopos in vivo o in vitro para el diagnóstico, la terapia y la investigación.

Ya son, sin duda, millones los hombres y mujeres que han salvado y prolongado su vida gracias, o bien al diagnóstico acertado oportunamente merced a las técnicas nucleares, o por la aplicación de la terapia nuclear que se ha convertido en un instrumento indispensable en los tratamientos tumorales. Ningún buen hospital o centro sanitario de nuestra época deja de tener su Departamento de Medicina Nuclear.

En la Agricultura, la esterilización de insectos perjudiciales mediante técnicas nucleares ha permitido luchar, con éxito, contra las plagas que habían llegado a destruir hasta el 25% de las cosechas. Los trazadores nucleares utilizados en los abonos han dado indicaciones preciosas para avanzar en el estudio del proceso de absorción de los fertilizantes y mejorar con ello su aplicación y el uso de radioisótopos ha hecho posible desarrollar nuevos tipos de plantas de mejor calidad y más alto rendimiento.

Pero hasta alcanzar estas metas, la energía nuclear ha tenido que recorrer un largo camino lleno de obstáculos e incomprendimientos, aún no desvanecidos. Si en razón a nuestra dedicación profesional nos ceñimos al caso de la industria nuclear aplicada a la generación de electricidad, la historia de las centrales ha sido resumida con indudable acierto y conocimiento por Beltrán Goldsmith, uno de los pioneros de la fisión nuclear, dividiéndola en cuatro etapas que en períodos decenales denomina sucesivamente:

- La etapa de la esperanza, que va de 1944 a 1954.
- La etapa de la euforia, que cubre desde 1954 a 1964.

- La del lanzamiento industrial, entre 1964 y 1974.

Y la que finalmente denomina "etapa de la confusión" que aún perduraba en 1980 cuando Goldsmith hacía esta clasificación y justificaba el calificativo, porque nunca como entonces se habían hecho tantos esfuerzos y alcanzado logros tan importantes en seguridad y economía de las centrales y, sin embargo, nunca como entonces, eran tan fuertes las organizaciones antinucleares y obtenían resultados tan espectaculares y brillantes que llegaban a retrasar e incluso paralizar los programas nucleares de algunos países, conquistando además la simpatía y el apoyo de la mayor parte de la sociedad.

Cuando se observa el desarrollo de los acontecimientos, se puede admitir que la etapa de la confusión iniciada en 1974 se sujeta también al ritmo decenal y que en 1984 realmente se iniciaba una nueva etapa que pudiéramos llamar de "la comunicación".

En ella, la industria nuclear reconoce la importancia de la información y le consagra hombres y medios, tratando de corregir un olvido o una falta de atención, que había hecho posible la aparición de una marea importante de movimientos antinucleares y de reacciones emocionales, a las que no se habían sabido dar la respuesta oportuna.

Se ha dicho, con razón, que la polémica nuclear había llegado a convertirse en una lucha entre la lógica y los sentimientos.

Se hace notar en esta etapa, que aún estamos viviendo, la importancia de dos factores: la elección del mensaje en su doble aspecto de contenido y lenguaje y la correcta utilización del vehículo portador del mensaje mismo. Vehículo constituido, en definitiva, por los sistemas de difusión (prensa, radio y televisión) que tienen que ser contemplados desde la realidad de su poder fáctico sobre el comportamiento social. Poder que se pretende orientar rectamente, lo cual exige atención y medios bien organizados, porque ya no se trata de dar bien la noticia, sino de cuidar su correcta interpretación.

Para abordar esa problemática, las Compañías introducen en su organización la figura del responsable de Relaciones Exteriores, las Centrales montan sus Centros de Información, se potencian las encuestas y se cuidan en suma la fluidez y la transparencia de los hechos nucleares. Avanzando en ese camino se preparan y desarrollan programas de divulgación, que forman parte esencial de un objetivo importante, pero más difícil, cual es la formación nuclear del ciudadano medio.

No se puede decir que la información no existiera antes de 1984, sino que, ni el

método, ni la sustancia se fueron ajustando a los requerimientos de una sociedad cuya idiosincracia cambiaba con el tiempo, por el hecho mismo de la evolución de las costumbres, conocimientos y objetivos de vida.

Evidentemente en los años 70, en el período de la euforia expansiva de la industria nuclear, existía la información.

Pero existía orientada por un criterio lógico de facilitar datos y proclamar ventajas, orientando el contenido del mensaje al que pudiéramos llamar "ciudadano razón" y además con un lenguaje que a menudo sólo era asequible a las clases más preparadas, que no eran siempre las más influyentes.

En los años 80, el auge de los movimientos antinucleares nos obligó a todos a comprender que, en realidad, el llamado "ciudadano razón", nuestro objetivo o cliente preferido y casi exclusivo, era ya una minoría cada vez más exigua, que la propia sociedad iba sustituyendo por el "ciudadano pasión", el gran cliente de los movimientos anti y que, por consiguiente, éste tenía que ser el nuevo destinatario del mensaje nuclear.

Eso significa que en esta nueva etapa de la comunicación, nacida en 1984, esta comunicación no puede estar basada exclusivamente en la información, que siempre será necesaria, sino que hay que fundamentarla sobre todo en la seducción.

Hay que acertar y desarrollar una presentación nuclear atrayente, selectiva, con argumentos y lenguajes dirigidos no sólo a la razón, sino también a los sentimientos, pero siempre respetando de modo riguroso la verdad y tratando de proporcionar a la sociedad los elementos de juicio necesarios para que, conociendo todos los aspectos y consecuencias de los pros y los contras, pueda elegir por sí misma, sabiéndose también responsable de los resultados de su elección.

No es tarea fácil, ni de rápida realización, pero tampoco es imposible. Y, sobre todo, es necesaria.

Pero todo esto que suena a pura teoría, hay que reconsiderarlo a la luz de los hechos y entonces cabe preguntarse cuál va siendo el resultado de la aplicación de estos principios.

Entre los procedimientos conocidos para pulsar un estado de opinión, el mejor, o si se quiere el menos malo, es la realización de una encuesta, siempre que se cumplan con rigor algunos principios fundamentales, tales como la debida expresión de las preguntas, la elección correcta de la muestra de población consultada y la profesionalidad imparcial de los encuestadores.

Lejos de mí, aquella maligna interpretación que dividía las mentiras en tres clases: mentiras negras, mentiras blancas y las encuestas.

O la maliciosa afirmación de Augusto D'Oeteuf cuando aconsejaba a los hombres de empresa diciendo: "cuando haya de realizar una estadística o una encuesta, nunca diga para qué la quiere, porque entonces el resultado será siempre el que usted haya señalado de antemano".

En verdad, la realización de una buena encuesta es siempre una cuestión de especialistas en la materia.

Así lo ha entendido la Dirección General de la Energía de la CEE que, desde 1982 y por intervalo de dos años, viene patrocinando lo que denomina un estudio de "opinión europea sobre los temas energéticos" donde la energía nuclear aparece con todo el peso que le corresponde y cuya última edición, publicada a mediados de 1992, recoge los resultados de la consulta realizada en 1991.

Aparte de una reconocida profesionalidad en sus protagonistas, la encuesta comunitaria tiene dos características muy importantes:

Una, que se realiza cada dos años. Otra, que se hacen siempre las mismas preguntas, lo cual permite seguir la evolución a través del tiempo de la opinión de la población consultada.

Me refiero ahora a la consulta realizada en 1991 y cuyos resultados se han dado a conocer en 1992.

Esta ascendió en el conjunto de la Europa de los Doce a 13.121 personas mayores de 15 años que fueron objeto de entrevistas personales en su propio domicilio. En el reparto proporcional de población consultada, a España le correspondieron 1.001 personas.

La opinión sobre la energía nuclear extractada de un informe de 85 páginas, se centra sobre todo en cuatro preguntas, donde se interesa por la opinión respecto al costo competitivo, la contribución a la independencia energética, su carácter de energía limpia y si en definitiva merece la pena continuar desarrollando las centrales nucleares.

Las respuestas correspondientes a los años 1987, 1989 y 1991 se resumen así:

- En costo son afirmativas el 46, 44 y 51%, es decir, con una tendencia favorable.
- En independencia energética son afirmativas: el 58, 50 y 61%, con idéntica tendencia.
- En pureza ambiental, son afirmativas el 37, 37 y 31%, lo que significa una pérdida sensible de opinión.
- En aceptación de las centrales el rechazo absoluto a las mismas fue del 55, 51 y 34%, lo que constituye un dato absolutamente favorable.

En definitiva, parece que los esfuerzos realizados dan fruto y que estamos en el buen camino.

Uno de los gráficos de la época que muestra una visión del experimento conocido como "la pila de Fermi".



Pero, aparte de otras consideraciones, aparecen además dos puntos que requieren atención y son:

Uno, la débil apreciación de la energía nuclear como energía limpia, que en España se limita a un 17%, es decir, muy por debajo de la pobre media comunitaria de 1991.

Y otro, el alto porcentaje de personas encuadradas en la respuesta "no sabe - no contesta" en algunos casos superior al 20% y que está señalando la necesidad de realizar un mayor y continuo esfuerzo de información.

La conclusión actual, que cabe deducir de estas breves consideraciones surgidas del recuerdo de los 50 años de la pila de Fermi, es que parece evidente que la continuidad de la energía nuclear pacífica, es decir, de la industria nuclear representada por las centrales ha entrado en esa quinta etapa de la comunicación que tiene como objetivo la conquista de la aceptación social, sin la cual no parece posible llevar a cabo ningún programa nuclear importante.

Y que además, la comunicación no forma parte de la técnica nuclear, pero ha de ser la técnica quien deba de aportar los argumentos clave.

Para ganar esa batalla de la comunicación nuclear es preciso ante todo reconocer su importancia y después prestarle una atención especializada, tanto en contenido de los mensajes, como en la forma de lanzarlos y en la elección y buen uso de los vehículos de lanzamiento.

Todo ello requiere, por parte de las Compañías y en su caso de los Gobiernos, un aporte importante, no sólo de medios económicos, sino especialmente de paciencia y tenacidad, porque los resultados no se producirán nunca a corto plazo.

Y por parte de los técnicos un ejercicio considerable y continuo de humildad. Saber reconocer no sólo la fuerza de la opinión pública, sino también sus razones. Marchar al unísono.

Hay que huir de situarse en la postura de aquella madre de familia que después de presenciar el desfile del Regimiento donde se encuadraba su retoño, sostenía que todos llevaban el paso cambiado menos su hijo.

Estas son las reflexiones que sobre nuclear y sociedad me ha sugerido este Aniversario.

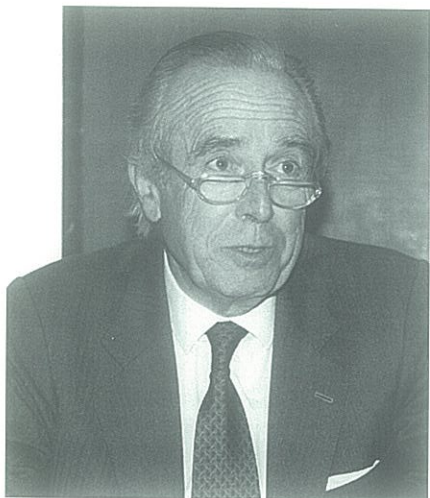
Muchas gracias.

ENERGIA NUCLEAR E INGENIERIA

FRANCISCO VIGHI

Es posible que la carrera por obtener el control de reacción de fisión se habría logrado más o menos rápidamente por el interés y esfuerzo de algunos secto-

res, en crear un arma suficientemente contundente para a través de un dominio completo acabar con una guerra que en ese momento assolaba a la humanidad y de paso crear un freno que impidiese en un futuro la confrontación



Francisco Vighi

cruenta entre los pueblos, mientras que el objetivo de otros grupos, entre los que se encontraban la mayoría de los más relevantes científicos, pretendía la obtención de una fuente de energía y una aplicación pacífica con fines industriales, que ayudaría a la humanidad a mejorar sus condiciones de vida. En el fondo ambos perseguían, como todo científico, un nuevo descubrimiento, un nuevo logro en esa carrera por buscar y conseguir un mejor conocimiento y unas mayores posibilidades para el ser humano. Es indudable que el éxito del experimento logrado hace hoy 50 años marcó una etapa en el desarrollo de la humanidad, no sólo en el campo de la ciencia y de la técnica y la industria, como antes lo habían logrado la lámpara de Edison, la máquina de vapor de Watt o los descubrimientos de Pasteur o posteriormente Fleming por citar algunos casos notables.

La Energía Nuclear debido a razones varias, como pueden ser el efecto catastrófico y las consecuencias a largo plazo de un accidente severo, o que su conocimiento inicial por la humanidad, fue a través de una acción militar sobrecogedora, ha obligado a exigir unas condiciones de seguridad en su desarrollo y utilización que jamás ninguna otra actividad industrial, ni siquiera la aeroespacial ha exigido.

El actual contexto en que se debate la energía nuclear en sus usos pacíficos, en especial el relativo a la generación nuclear de energía eléctrica tiende a ocultar todas sus posibles ventajas.

En efecto, se magnifican los riesgos potenciales, los incidentes que con una muy baja frecuencia ocurren, los inconvenientes derivados de la gestión de residuos radiactivos y un largo etcétera en el que merece destacarse la crítica a los costes de algunas instalaciones nucleares, muchos de los cuales están a su vez generados por la ingente cantidad

de regulación, su continuo cambio y los larguísimos procesos de licenciamiento, es decir, factores ajenos a la tecnología nuclear en sí.

Es pues conveniente analizar de vez en cuando aunque sea someramente las ventajas que la energía nuclear ha aportado en este medio siglo que ha transcurrido desde que Fermi y su equipo consiguieron por primera vez la reacción en cadena.

No voy a entrar en otros campos como puedan ser: los beneficiosos efectos sociales, económicos e incluso, mal que pese a algunos, ecológicos, sino solamente en aquellos relacionados con la ingeniería.

A nadie se le debe escapar que los grandes hitos de la ingeniería en los últimos cincuenta años son la energía nuclear y la tecnología aeroespacial, ambos unidos al desarrollo y uso generalizado de la maravillosa herramienta que constituye la informática, conjuntamente con la electrónica.

Podrían ponerse numerosos ejemplos de influencia de la energía nuclear en el desarrollo tecnológico tanto en áreas concretas como en general en lo que se refiere a cambio de antiguas estructuras en la concepción de proyectos, diseños, fabricaciones e incluso en el sistema de relaciones de nuestras empresas y nuestros técnicos en el exterior.

Un caso concreto lo más simple: la ingeniería sísmica.

¿Quién y en qué sectores se ocupaban de la ingeniería sísmica en un país de baja sismicidad como es España antes de que la energía nuclear llegara a nuestro país?

Ahora nos parece normal que nuestros fabricantes de bienes de equipo y nuestras oficinas de ingeniería de proyectos estén familiarizados con los requisitos de sismicidad y los tengan en cuenta en sus diseños, fabricación, calificaciones, proyectos y pruebas. Nos parece normal tener técnicos formados en el área y laboratorios capaces de ofertar pruebas y calificar equipos.

Todo esto llegó con la energía nuclear y no antes. Además llegó como una consecuencia de la energía nuclear que presentaba requisitos en ese área y obligó a que la estructura tecnológica completa del país hiciese un esfuerzo de adaptación para seguir el ritmo que sería marcado por la normativa.

Es un ejemplo entre los muchos que podrían ponerse, pero que deja patente el auténtico valor que quiero destacar y es: la capacidad que ha tenido la energía nuclear para gracias a los requisitos tan estrictos, producir una notable transformación en el panorama general de nuestra industria, haciendo que nuestras ingenierías de proyectos, de servicios y nuestros fabricantes de bienes de equipo hayan tenido un desarrollo del que no

hubieran sido probablemente capaces sin la introducción de la energía nuclear en el ámbito de sus trabajos.

Con la energía nuclear aparecieron en la ingeniería nuevos conceptos. No solamente se intensificó el concepto de control de calidad con unas exigencias muy superiores a la hasta entonces normal, sino que en virtud de una normativa no solo muy estricta, sino completa y en permanente actualización, los requisitos de control de calidad tomaron carta de naturaleza desde las especificaciones técnicas hasta las mismas hojas de ruta de los talleres.

Por otro lado se amplió el concepto de calidad hacia el campo de la "Garantía de Calidad" que trasciende el mero control de rechazo de lo no apto por no cumplir con la calidad especificada y se adentra en una filosofía de la calidad. No se trata ya de rechazar lo que durante el proceso o al final del mismo se muestra como erróneo, sino que se establece la metodología conceptual para que tales errores no lleguen a producirse.

Es cierto que no es únicamente en la energía nuclear donde este concepto ha tenido su desarrollo y uso, pero sí es cierto que a España llegó unido a la energía nuclear y a ella permanece unido.

¿Puede imaginar la revolución que la implantación de estos conceptos supuso en la ingeniería y en la fabricación española de los años setenta?

¿Creen ustedes que de verdad, sin una renovación semejante la ingeniería y la tecnología española estarían en el nivel que están actualmente?

Hay otros importantes conceptos que están ligados al desarrollo de la ingeniería y los servicios nacidos de la implantación de la energía nuclear.

Aunque tenga que citar campos que son muy próximos, es cierto que la inspección en servicio surgida con la aparición de la sección XI del Código ASME es netamente desde su origen un requisito estrictamente nuclear, que como concepto no ha tenido a lo largo del tiempo una extensión a otros campos y que, sin embargo, ha dado origen a una enorme cantidad de desarrollos tecnológicos concretos que sí han tenido y tienen aplicación en numerosos campos de la industria convencional.

No sé si es una apreciación mía personal y quizás errónea, pero estoy seguro de que la implantación de la energía nuclear en nuestro país y en general en todos aquellos países que comenzaron como receptores de una tecnología para posteriormente acabar por dominarla e incluso ser capaces de exportarla a terceros países en procesos de transferencia tecnológica, ha llevado a consecuencias que superan el ámbito de la tecnología.

Para que estos procesos se realicen con éxito es preciso que se den varios factores. En primer lugar contar con una base humana y material en el país que permita iniciar este proceso sin mantener una dependencia del exterior muy prolongada.

En el caso de España, del primer proyecto llave en mano donde ya se inició una participación nacional, se pasó enseguida a un importante aumento de la cuota de participación española, llegando a que más de un 85% de la inversión fue en la última generación de centrales construidas, de origen nacional.

En segundo lugar, para que estos aumentos puedan tener lugar, todo un tejido económico, financiero, industrial, académico, de investigación, etc. tienen que responder adecuadamente a las exigencias que el proceso conlleva. Y esto se hace a base de equipos humanos bien formados e ilusionados con un proyecto innovador y que supone un desafío personal y colectivo.

Y en este punto es donde creo que se aprecia la gran aportación de la energía nuclear, no sólo a la ingeniería, sino a toda la estructura industrial en numerosas áreas productivas.

Las grandes exigencias técnicas, los aspectos novedosos de los que hemos hablado aunque sea someramente, pero que son de todos conocidos, el salto cualitativo y cuantitativo en la dimensión de los proyectos, hacen que si se dan unas mínimas condiciones iniciales y de continuidad, el país se vea empujado a una notable elevación en los niveles de

calidad y en el desarrollo de sus capacidades. Desarrollo y capacidades que permanecen bastante tiempo después de que su motor inicial se haya apagado.

Estamos en una fecha de celebración, entiendo que esta jornada ha de ser fundamentalmente optimista y de felicitación, pero no quiero dejar de hacer una reflexión aunque tenga tintes oscuros; lo mismo que la energía nuclear ha sido motor de lanzamiento y elemento de estructuración y de desarrollo de un importante tejido industrial, económico, financiero y en definitiva social en sus repercusiones, su abandono o ralentización lógicamente conllevan a caminar en sentido contrario. Naturalmente en una sociedad tan interdependiente como la actual, nunca un sólo hecho es responsable único de los cambios que se producen, pero en mi opinión el desarrollo de la energía nuclear contribuye al progreso no sólo industrial y tecnológico, sino al Progreso con mayúsculas que es el que se aprecia en la mejora del bienestar social en su conjunto.

Si recapacitamos sobre el efecto que un programa nuclear nacional, puede tener en el desarrollo industrial y tecnológico de un país, exigiendo una industria auxiliar con unos requerimientos en Calidad y unos procedimientos de control minuciosos y exigentes, una formación y experiencia del equipo humano, y una infraestructura general y administrativa mucho más profesionalizada, se podría decir que un país puede medir su nivel tecnológico por su desarrollo nuclear. No creo que sea una exageración.

Podría decirse que la energía nuclear puede ser un buen índice del nivel tecnológico y de desarrollo de un país, con mayor representatividad que medirlo por las toneladas de cemento o su producción de ácido sulfúrico per cápita.

Lo triste, lo injusto, lo que sólo puede entenderse poniendo en duda la racionalidad del ser humano o su absoluta falta de cultura o curiosidad, de educación al fin y al cabo, es que esta tecnología que supone una de las posibles bases en la mejora de la calidad de vida del ser humano, sea combatida y desconocida para tantos que presumen de preocuparse del progreso de la humanidad, y son los primeros en negar su evidencia.

No nos extrañe. Hace días en un concurso de televisión, a unos universitarios les preguntaban por escritores franceses a partir del siglo XV y no fueron capaces de dar ni un sólo nombre. Alguno de estos concursantes ¿sabría quién era Fermi? y, sin embargo, posiblemente viven y disfrutan de una vida agradable y de una ilusión, y sus hijos tendrán un mundo mejor, gracias al resultado del trabajo, el esfuerzo, la inteligencia y el conocimiento que permitió a un grupo de científicos llevar a cabo con éxito un experimento aquel 2 de diciembre de 1942, y a nosotros reunirnos aquí hoy para rendirle este homenaje.

Hace unos días en el acto de apertura de la XVIII reunión de la SNE, el profesor Luis Gutiérrez Jodra nos deleitó hablándonos desde un enfoque histórico y humano de sus recuerdos y vivencias en el Laboratorio de la Universidad de Chicago. Hoy el primer presidente de la SNE, el Profesor Carlos Sánchez del Río, nos ha hablado de Fermi y de la física de su tiempo.

A mí me produce rubor hablar hoy en este acto en recuerdo de Fermi, porque temo que si me preguntaseis algo sobre él y su obra, más allá de la cultura Española, me encontraría con la situación de aquella señora que presumía de culta, cuando celebrando en su casa un concierto para una obra benéfica, al preguntarle un asistente con bastante pedantería y ganas de agradar en un intermedio, si le gustaba Brahms, contestó: "¡Ah!, es ese señor alto y con buena facha que coge todos los días el tren de las 9?" Menos mal que su marido, hombre de mundo y negocios, cuando se marcharon los invitados le recriminó diciendo "Cómo puedes ser tan inoportuna, ¿no sabes que el tren de las nueve, hace ya un año que no funciona?"

Yo posiblemente, respecto a Fermi, también se me ocurriría pensar que en el desarrollo de la energía nuclear cogió el barco de las nueve afortunadamente, y que gracias a él y sus colaboradores, y a todos los que le precedieron, la humanidad podrá vivir mejor en un futuro.

Enrico Fermi en uno de sus experimentos ("Atoms in Family", Universidad de Chicago).

