

## EL ORIGEN DE LA FÍSICA MODERNA: EL PAPEL DE FERMI

*Antoni Hernández-Fernández*  
*Universidad Politécnica de Cataluña*

### RESUMEN

La primera mitad del siglo XX fue crucial para que la ciencia moderna se estableciese tal y como la conocemos. El ser humano extendió su comprensión del mundo tras explorar el mundo atómico y el astronómico. Entender lo inmenso y lo ínfimo permitió desarrollar la tecnología nuclear e inventar nuevos materiales, clave en la revolución electrónica de la segunda mitad del siglo XX. La historia de la ciencia de este periodo fue un auténtico encuentro multidisciplinar en el que la física jugó un papel central y vertebrador, con una figura paradigmática: Enrico Fermi. La vida de Fermi ejemplifica y plasma el tránsito a la ciencia del siglo XXI: trabajo en equipo, conexión entre la teoría y la experimentación, pedagogía y transferencia de tecnología, fueron elementos fundamentales de la ciencia de Fermi.

### 1. INTRODUCCIÓN

Enfrentarse a Enrico Fermi (1901-1954), a su vida y a su obra, es adentrarse en la primera mitad del siglo XX: fue cuando la ciencia no tuvo otro remedio que interferir en la historia como nunca antes lo había hecho. La revolución de la física de este periodo capitaneó el avance científico y tecnológico y, de aquella nueva capacidad humana de escudriñar la materia y el universo cuántico, nació la era atómica. El átomo dejó de ser un desconocido, podía tuteársele, y en nuestra relación con él descubrimos no sólo que su energía era inimaginablemente devastadora sino que, además, gracias a conocerle mejor podíamos desarrollar nuevas sustancias químicas con las que materializar nuevos objetos y sueños. La ciencia de materiales, tan antigua como el ser humano, evolucionó exponencialmente y pudieron así dispararse las novedades tecnológicas, como lo siguen haciendo en la actualidad.

### 2. SUS PRIMEROS AÑOS

Pero vayamos por partes. Fermi nació en Roma un 29 de septiembre de 1901, apenas diez meses después de la célebre presentación del trabajo de Max Planck (1858-1957) “*La teoría de la ley de distribución de energías del espectro normal*” en la Sociedad Alemana de Física. Planck defendió en él la discretización de la energía de las partículas, y en su conocida ley relacionó la energía,  $E$ , de la radiación con su frecuencia,  $f$  ( $E = hf$ , con  $h$  la llamada en su honor constante de Planck). Acababa de nacer la mecánica cuántica, que se reforzaría cuando Albert Einstein (1879-1955) utilizó en 1905 esta teoría de Planck para explicar el efecto fotoeléctrico, lo que le daría el premio Nobel de Física en 1921, y a nosotros años más tarde tecnologías como la energía fotovoltaica, el láser o los sensores de luz.

De hecho, para cuando Fermi ingresó en la *Scuola Normale Superiore* de Pisa, ya se habían desarrollado los primeros modelos del átomo de Ernest Rutherford (1871-1937) en 1911, y el primer modelo de Niels Bohr (1885-1962) en 1913. En 1909, Robert Millikan (1868-1953) y Harvey Fletcher (1884-1981) habían medido con precisión la carga del electrón ( $e \approx -1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ ), que hasta el

descubrimiento de los quarks fue considerada la carga mínima de la naturaleza. El joven Fermi devoró con avidez todos estos trabajos, además de los de Einstein sobre relatividad, que todavía era una teoría controvertida, así como la teoría electrónica de la materia de Owen Williams Richardson (1879-1959), o el cálculo tensorial del también italiano Tullio Levi-Civita (1873-1941). Fermi fue también, desde muy joven, un gran matemático.



*Figura 1: Fermi, a la derecha, junto a los ragazzi de Via Panisperna en 1930. A su lado, de izquierda a derecha: Oscar d'Agostino, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi y Franco Rasetti.*

En 1921 Fermi publicó su primer artículo en la revista *Nuovo Cimento*: “*Sulla dinamica di un sistema rigido di cariche elettriche in moto traslatorio*”, un trabajo premonitorio en el que ya exploraba la celeberrima ecuación de Einstein,  $E=m \cdot c^2$ , según la cual la materia del universo alberga gran cantidad de energía ( $E$ ), equivalente al producto de la masa ( $m$ ) por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío ( $c \approx 3 \cdot 10^8$  m/s). ¡Quién le iba a decir que sería el primero en llevar a la práctica aquella fórmula por aquel entonces teórica!

Porque Fermi, lejos de refugiarse exclusivamente en la física teórica, aprovechó al máximo los laboratorios de Pisa para especializarse en la experimentación con rayos X y en electromagnetismo, graduándose en Física en 1922 con un trabajo sobre difracción de rayos X, uno de los pocos caminos empíricos que le permitía estudiar la estructura de la materia. Fermi tenía entre ceja y ceja el fundamentar experimentalmente las teorías en las que creía aunque, cautivado por el potencial energético de la ecuación de Einstein, sostuvo en 1923:

No parece posible, al menos en un futuro cercano, encontrar un camino para obtener semejantes cantidades de energía —y que sea todo bueno— porque el primer efecto de la explosión de una cantidad tan terrible de energía sería aplastar en mil pedazos al físico que tuviese la desgracia de encontrar el camino de hacerlo.

El temperamento práctico de Fermi se benefició de forma notable del Director del Departamento de Física de la Universidad de Roma, Orso Mario Corbino (1876-1937), que a su regreso a *La Sapienza* le sugirió aceptar una beca para ir a Gotinga bajo la tutela de Max Born (1882-1970), donde conviviría con otros jóvenes científicos como Werner Heisenberg (1901-1976) o Pascual Jordan (1902-1980), en un grupo de investigación que estaba estableciendo las bases de la moderna mecánica cuántica. Allí, además de mejorar su alemán, llamó la atención de Paul Ehrenfest (1880-1933) por sus trabajos sobre mecánica analítica y enlazó así la estancia en el grupo de Born con otra con Ehrenfest en Leiden, donde coincidiría con Einstein y H.A. Lorentz (1853-1928), y con los que intercambiaría impresiones sobre relatividad y mecánica cuántica. La moderna mentalidad de Corbino permitió así que Fermi trabajase con los mejores y se abriese, en un ejercicio que ahora es habitual -y

casi normativo- como son las estancias en el extranjero, para volver a Roma maduro y ya siendo uno de los físicos más importantes de su tiempo.

### 3. EL DESCUBRIMIENTO DEL UNIVERSO CUÁNTICO

Porque, mientras tanto, no habían cejado los avances en la teoría cuántica. En 1922, Otto Stern (1888-1969) y Walther Gerlach (1889-1979), en el llamado experimento de Stern-Gerlach, causaron el desvío de un haz de átomos de plata al hacerlo entrar en una región con un fuerte campo magnético, de manera que se desdobló el haz de forma inesperada y contra la teoría clásica. Se demostraba así que existía una propiedad cuántica magnética en la materia: el spin. Relacionado con las propiedades cuánticas, en 1925, el físico austriaco Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958) enunció el famoso principio de exclusión, que impedía que dos electrones estuviesen en un mismo estado cuántico y que fundamentaba el experimento de Stern-Gerlach.

Ya en 1924, Louis-Victor de Broglie (1892-1987) había propuesto que la luz se podía comportar como si fuese una onda en fenómenos como la difracción, la interferencia o la refracción, o como una partícula en otros, como el efecto fotoeléctrico que había explicado Einstein o el efecto Compton, y planteó además que la materia también poseía este doble comportamiento ondulatorio-corpúscular, es decir, se podía comportar como una onda o como una partícula según la situación. Años más tarde, G.P. Thomson (1892-1975) y C.J. Davisson (1881-1958) confirmarían esta dualidad onda-corpúsculo de la materia al llevar a cabo la difracción de electrones en dos experimentos independientes. Bajo la perspectiva de la mecánica cuántica tanto las ondas como las partículas materiales parecían poseer una misma naturaleza dual.

Sin embargo, de regreso a Roma, un Fermi sin duda imbuido por todos aquellos avances, se reencontró con su compañero y amigo Franco Rasetti (1901-2001) y decidió por inercia embarcarse en la línea de física experimental en la que él trabajaba. Ambos ahondaron en las técnicas espectroscópicas y de aplicación de campos electromagnéticos a haces de partículas, capaces de seguir desentrañando la estructura de la materia.

El físico hindú Satyendra Nath Bose (1894-1974) introdujo en 1924 una nueva teoría estadística para los cuantos de luz, obteniendo las fórmulas de Boltzmann de la radiación del cuerpo negro. Einstein la aplicaría a un gas de partículas libres, en la que se conocería como estadística de Bose-Einstein. Cuando Fermi publicó en 1926: "*Sulla quantizzazione del gas perfetto monoatomico*", donde expuso la teoría de un gas ideal monoatómico que obedecía el principio de exclusión de Pauli, desarrolló la que se llamaría estadística de Fermi. Acababa de dividirse el conjunto de partículas del universo en dos grandes grupos: bosones y fermiones. El universo de partículas en el que vivimos estaba apenas empezando a descubrirse.

Los quarks son fermiones y con ellos se forman los protones y neutrones del núcleo atómico, y también son fermiones los leptones (electrones y neutrinos). Siguiendo el principio de Pauli, dos fermiones no pueden estar a la vez en el mismo estado cuántico, lo que explicaba el desdoblamiento del haz del experimento de Stern-Gerlach. Sin embargo, sí pueden estar en un mismo estado cuántico los bosones, lo que permite por ejemplo a los fotones, las partículas de las que está constituida la luz, que son bosones, causar fenómenos como el efecto láser, tan útil en los lectores de códigos de barras de las tiendas actuales o en la cirugía óptica.

La estadística de Fermi se usó con éxito en campos muy diversos, como fue el caso de la aplicación del astrónomo R.H. Fowler (1889-1944) al estudio del colapso de estrellas. Lo inmenso y lo minúsculo parecían tocarse. El propio Pauli utilizó en 1927 la estadística de Fermi para explicar fenómenos como el paramagnetismo de los metales alcalinos, y Sommerfeld en poco tiempo la empleó también a la dinámica de los electrones libres de un metal, explicando así porqué los metales conducen la electricidad con tanta facilidad. La comprensión de estos fenómenos fue el punto de partida

necesario para el desarrollo de nuevas técnicas electromagnéticas y la creación de materiales semiconductores, claves para la revolución tecnológica de la electrónica que se inició mediado el siglo XX y de la que se derivaría la era informática.

	Fermiones			Bosones
	I	II	III	
Masa	3 MeV	1,24 GeV	172,5 GeV	0
Carga	2/3	2/3	2/3	0
Espin	1/2	1/2	1/2	1
Nombre	u up	c charm	t top	$\gamma$ fotón
	6 MeV	95 MeV	4,2 GeV	0
	-1/3	-1/3	-1/3	0
	1/2	1/2	1/2	1
Quarks	d down	s strange	b bottom	g gluón
	<2 eV	<0,19 MeV	<18,2 MeV	90,2 GeV/c <sup>2</sup>
	0	0	0	0
	1/2	1/2	1/2	1
	$\nu_e$ electrón neutrino	$\nu_\mu$ muón neutrino	$\nu_\tau$ tau neutrino	Z <sup>0</sup> fuerza débil
	0,511 MeV	106 MeV	1,78 GeV	80,4 GeV
	-1	-1	-1	$\pm 1$
	1/2	1/2	1/2	1
Leptones	e electrón	$\mu$ muón	$\tau$ tau	W <sup>±</sup> fuerza débil
				125 GeV (?)
				0
				0
				H <sup>0</sup> bosón de Higgs

Partícula	Teorizada	Descubierta
Up	Gell-Mann y Zweig (1964)	SLAC (1967)
Down	Gell-Mann y Zweig (1964)	SLAC (1967)
Charm	Glashow, Iliopoulos, Miani (1970)	Richter et al. (SLAC) y Ting et al. (BNL), (1974)
Strange	Gell-Mann y Zweig (1964)	SLAC (1967)
Top	Kobayashi y Maskawa (1973)	CDF / DO Fermilab (1995)
Bottom	Kobayashi y Maskawa (1973)	Lederman et al. (1977) Fermilab
Neutrino electrónico	Pauli (1930)	Cowan y Reines (1956)
Electrón	Laming (1838) / G. Johnstone Stoney (1874)	Thomson (1897)
Neutrino muónico	Sakata y Inoue (1946)	Lederman, Schwartz y Steinberger (1962)
Muón	—	C.D. Anderson y S. Neddermeyer (1936)
Neutrino tauónico	Perl et al. (SLAC) (1974)	DONUT / Fermilab (2000)
Tauón	—	Perl et al. (SLAC) (1974)
Fotón	Planck (1900) / Einstein (1905)	Rayos X por Röntgen / Pulyui (1896)
Gluón	Gell-Mann (1962)	DESY / PLUTO (1978)
Fuerza débil Z <sup>0</sup>	Glashow, Weinberg, Salam (1968)	UA1 / UA2 (1983)
Fuerza débil W <sup>+/-</sup>	Glashow, Weinberg, Salam (1968)	UA1 / UA2 (1983)
Higgs	Higgs (1964)	CERN-LHC (2012)

Figura 2. Cuadro con las partículas que conforman la materia (fermiones) y las partículas mediadoras de fuerzas de la naturaleza (bosones), con sus principales propiedades de masa, carga y espín. A la derecha se indica cuándo fueron teorizadas y descubiertas experimentalmente.

#### 4. LOS RAGAZZI DE VIA PANISPERNA

Pero fue Orso Mario Corbino, en un alarde de perspectiva, visión moderna y capacidad de liderazgo, el que forjó en Roma en poco tiempo un auténtico equipo de investigación en torno a Fermi: los conocidos como *Ragazzi de Via Panisperna*, en honor a la calle en la que se encontraba el departamento de física. Corbino tenía claro que “la única posibilidad actual de grandes descubrimientos en física vendrá de que alguien logre modificar el núcleo del átomo”. Además de a Rasetti, al que inicialmente puso a trabajar con Fermi en la espectroscopia molecular, imprescindible para obtener información experimental del mundo atómico, Corbino incorporó a los entonces jóvenes estudiantes Emilio Segrè (1905-1989), Bruno Pontecorvo (1913-1993), Edoardo Amaldi (1908-1989), Oscar D’Agostino (1901-1975) y al genial Ettore Majorana (1906-1938), no sin antes preocuparse de que realizasen estancias en el extranjero en las que aprender nuevas técnicas y teorías.

Así pues, Rasetti había recalado en el *Caltech* para estudiar espectroscopia Raman y en Berlín junto a Lise Meitner (1878-1968) para adquirir nuevas técnicas de observación en física nuclear, que le permitirían aprender a crear en Roma un espectroscopio de cristales de bismuto, mientras Segrè mejoraba también su formación en espectroscopia con Otto Hahn (1879-1968) y Peter Zeeman (1865-1943). Por su parte Amaldi trabajó en difracción de rayos X en líquidos con Peter Debye (1884-1966) en Leipzig, de forma que a su regreso pudo construir junto a Fermi la primera cámara de niebla de Italia, con la que estudiar la dinámica de partículas. Majorana trabajó con Heisenberg en una nueva teoría nuclear en 1933, justo el año que Hitler llegó al poder en Alemania y D’Agostino y Pontecorvo, el más joven del grupo, se trasladaron a París, para investigar con Irène Curie (1897-1956) y Frédéric Joliot (1900-1958). Corbino había logrado su objetivo de formar un grupo puntero en física nuclear en Roma, los *ragazzi de Via Panisperna*.

Bajo la batuta de Fermi, hubo una década floreciente en Roma. Fermi profundizó en la electrodinámica cuántica y junto a Majorana sentó las bases de la física nuclear teórica que necesitaban para comprender la estructura del átomo que, todavía, se creía formado por protones en el núcleo rodeados de orbitales electrónicos. Pero cuando, en 1932, James Chadwick (1891-1974) demostró empíricamente la existencia del neutrón, se vio que los núcleos atómicos contenían también neutrones y, es más, se comprobó que un mismo elemento de la tabla periódica -que tenía por definición un determinado número de protones- podía albergar en su núcleo más o menos neutrones, formando isótopos diferentes del mismo elemento, algunos de ellos radiactivos. En 1934 el matrimonio Curie-Joliot obtuvo los primeros isótopos radiactivos artificiales, en un primer paso hacia las tecnologías nucleares modernas.

Fermi estudió entonces en profundidad la radiactividad, en especial la desintegración beta que explicó en su artículo "*Tentativo di una teoria dei raggi  $\beta$* ", para la que Pauli había propuesto la existencia teórica de una nueva partícula neutra pequeña, que no era el neutrón, y a la que Fermi y Amaldi llamaron, en italiano, "*neutrino*" (algo neutro pequeñito), término que sería aceptado por la comunidad científica, en un bautizo terminológico curioso. Estos estudios de las desintegraciones darían pie, años más tarde, a potentes aplicaciones en herramientas de diagnóstico médico y a conocidos métodos de datación arqueológicos como el Carbono 14.

## 5. EL ERROR DE FERMI Y EL PREMIO NOBEL

Fermi además tuvo una idea genial: bombardear los átomos con neutrones, siguiendo un camino que no había explorado Irène Curie. Su idea era crear elementos no existentes de forma natural en la Tierra. Los *ragazzi* demostraron entonces que los neutrones lentos eran los más efectivos para generar radiactividad, tras bombardear más de sesenta elementos y obtener isótopos de casi cuarenta, en un ejercicio de sistematicidad experimental digno de cualquier laboratorio actual, pero sorprendente con los limitados medios de la época. No obstante, Fermi erró cuando, tras bombardear el uranio y detectar una mayor cantidad de radiación, no entendió que no había creado un isótopo nuevo del uranio ni ningún elemento transuránico, sino que lo que había hecho era fisiónar el átomo, como Ida Noddack (1896-1978) sugirió acertadamente. Fue "el gran error de Fermi" que él mismo reconoció.

Sin embargo, la política estaba revolviendo Europa. El auge del fascismo en Europa era ya un hecho, y Mussolini había proclamado en 1936 el Imperio Italiano, había creado una crisis internacional con la invasión de Etiopía y fundado el eje Roma-Berlín junto a Hitler (el que sería germen del Eje militar de la Segunda Guerra Mundial). Mientras tanto, en España daba inicio la Guerra Civil, con todas las potencias posicionándose en el conflicto, auténtico campo de pruebas de la catástrofe bélica mundial que se avecinaba.

Los camisas negras eran ya señores de Italia cuando Mussolini publicó el antisemita *Manifesto della razza* en julio de 1938 e impuso como obligatorio el saludo romano. Pontecorvo, judío, ya no regresaría a Italia, ni tampoco Segrè que se quedó en Berkeley en verano de 1938, aunque el grupo había quedado roto antes, con la muerte de Corbino en 1937, y la extraña desaparición de Majorana en marzo de 1938. Fermi, aunque se había tenido que inscribir en el Partido Nacional Fascista, como requisito para entrar en la Real Academia de Italia en 1929 y obtener así financiación para el grupo, no había cumplido como otros con el fascismo y no fue el elegido por *Il Duce* para seguir a la cabeza de los *Ragazzi* tras el fallecimiento de Corbino. Por si fuera poco, Fermi estaba, a ojos del régimen, sospechosamente casado con Laura Capon, judía, con la que tenía dos hijos.

Por eso, cuando Fermi fue galardonado en 1938 con el premio Nobel de Física "por sus demostraciones sobre la existencia de nuevos elementos radiactivos producidos por procesos de irradiación con neutrones y por sus descubrimientos sobre las reacciones nucleares debidas a los neutrones lentos", obtuvo la manera de huir de Italia con toda su familia, cruzando la Alemania nazi para ir a Estocolmo a recoger el premio. La disidencia de Fermi quedó confirmada cuando, al recibir el

Nobel de manos del Rey Gustaf V, Fermi no realizó el saludo romano como Mussolini esperaba. Y todo ello pese al *gran error* de Fermi, que le obligó a rectificar su discurso de aceptación del Nobel tras el descubrimiento de la fisión nuclear, una vez Meitner, Hahn y Fritz Strassmann (1902-1980) identificaron el bario tras el bombardeo del uranio con neutrones.

Aquel error espoleó a Fermi, que recaló en Columbia donde ya se estaba trabajando en el estudio de la fisión y donde poseían uno de los primeros aceleradores de partículas tipo ciclotrón. La cuestión era entender el fenómeno de la reacción en cadena: si un neutrón provoca una primera fisión del uranio, se debía calcular la energía liberada y cuántos neutrones se obtenían de la fisión, capaces de fisiónar nuevos átomos. Controlar la reacción permitiría crear un reactor nuclear del que obtener grandes cantidades de energía. Si la reacción se descontrolaba se tenía una bomba.

## 6. CAMINO A LA BOMBA: EL PROYECTO MANHATTAN

El trabajo de Fermi, y el de otros científicos que habían colaborado con él como Leo Szilárd (1898-1964), y que también investigaban la fisión, fue declarado secreto militar cuando Roosevelt creó en octubre de 1939, a instancias de Einstein y Szilárd, una comisión para el seguimiento de los avances en las tecnologías nucleares. El 1 de septiembre de 1939 había empezado la Segunda Guerra Mundial y el interrogante nuclear se cernía sobre el mundo: ¿tendría Hitler la bomba nuclear? El ataque de Pearl Harbor, el 7 de diciembre de 1941, causó la entrada inmediata de Estados Unidos en el conflicto.

Fermi consumó su traslado a Chicago a primeros de 1942, y pese a su origen italiano, se ganó la confianza de los dirigentes políticos como Vannevar Bush y pasó a encabezar el proyecto para el desarrollo de un reactor nuclear en Chicago, mientras seguía trabajando con sus colegas en Columbia y, en sus palabras, haciendo “física por teléfono”. El trabajo fue frenético durante aquellos meses, y el elenco de físicos a las órdenes de Fermi espectacular para que, bajo secreto militar, el 2 de diciembre de 1942 lograr la *Chicago-Pile 1*, el primer reactor nuclear de la historia, ubicado en el estadio abandonado de Stagg Field, de la Universidad de Chicago, justo en una pista rectangular de squash de 9'15 x 18'30 m. de base, y poco más de 8 m. de alto. Aquel día nacía la energía nuclear, una fuente energética todavía imprescindible en la actualidad, y el pilar de las tecnologías nucleares modernas.



*Figura 3: Cuarto aniversario de la puesta en funcionamiento de la CP-1 (2 de diciembre de 1946). De izquierda a derecha, en la fila de atrás: Norman Hilberry, Samuel Allison, Thomas Brill, Robert Nobles, Warren Nyer y Marvin Wilkening. En medio: Harold Agnew, William Sturm, Harold Lichtenberger, Leona Woods y Leo Szilard. Delante: Enrico Fermi, Walter Zinn, Albert Wattenberg y Herbert Anderson.*

Fermi había demostrado liderazgo, lealtad a los Estados Unidos y una emblemática capacidad para resolver problemas reales y materializar la física teórica que dominaba en nuevas tecnologías. En 1943 el general Groves, encargado de supervisar desde septiembre de 1942 las investigaciones del Proyecto Manhattan, empezó a asignar a Fermi los problemas de desarrollo de tecnología nuclear en los que se encallaban otros investigadores. De hecho, ya bajo la batuta de Robert Oppenheimer (1904-1967) y trasladado a Los Álamos, Fermi fue nombrado director asociado del Proyecto Manhattan, encargado de la llamada «División F», siguiendo la inicial de su apellido. Su responsabilidad era resolver todas aquellas cuestiones en las que se atascaban los miembros de otras divisiones, aprovechando su sagacidad y capacidad de visión general de los problemas.

El Proyecto Manhattan, como es bien sabido, culminó con las dos bombas nucleares que cayeron sobre Hiroshima y Nagasaki, el 6 y el 9 de agosto de 1945, respectivamente, con más de cien mil víctimas directas, más miles de heridos que murieron con posterioridad, en las dos mayores masacres instantáneas de la historia de la humanidad. Finalizada la guerra en Europa con la entrada de las tropas rusas en Berlín y, tras el suicidio de Hitler, la rendición alemana el 8 de mayo de 1945, la Segunda Guerra Mundial acabó como los militares se habían propuesto: ensayando los dos tipos de bomba (bomba de pistola de Uranio 235 y bomba de plutonio) desarrollados en el proyecto Manhattan. La rendición de Japón llegó casi de inmediato. La tecnología nuclear había mostrado su lado más terrible: el desarrollo de armas de destrucción masiva.

Los científicos vivieron aquel final de otra manera: muchos se cuestionarían la necesidad de la segunda explosión en Nagasaki, y algunos el uso de ambas, cuando la contienda podría haber concluido de otra forma menos cruenta. Los militares y el gobierno norteamericano, sin embargo, preferían un final rápido y contundente que no produjese más bajas propias. Los científicos que destacaron en el proyecto fueron condecorados por el general Groves con la medalla al mérito el 19 de marzo de 1946, en una ceremonia solemne celebrada en Chicago. Fermi estaba entre ellos aunque, como le sucedería al propio Einstein, tenía la conciencia removida, como demostró en sus alegatos posteriores en favor de los usos civiles de la energía nuclear.

## **7. EL ORIGEN DE LA CIENCIA MODERNA Y EL LEGADO DE FERMI**

Además del desarrollo de las bombas nucleares, en Los Álamos Fermi colaboró con John Von Neumann (1903-1957) y Stanislaw Ulam (1909-1984) en el desarrollo de los primeros ordenadores, precursores de la computación moderna, y que darían como resultado la primera computadora electrónica de propósito general ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), diseñada por John William Mauchly (1907-1980) y Presper Eckert (1919-1995), ambos integrados en el proyecto PX que Von Neumann había capitaneado en Los Álamos. Fermi era consciente de que “las computadoras serán la clave para resolver problemas”, ya que problemas como la dispersión y difusión de partículas requerían por aquel entonces miles de horas de cálculo.

De hecho, sorprendió a Ulam, Von Neumann y a Nicholas Metrópolis (1915-1999) la familiaridad de Fermi con el método de Montecarlo, una técnica de cálculo numérico que habían formalizado en Los Álamos, y que resolvía aproximadamente cálculos no evaluables con exactitud por su complejidad. Y es que Fermi había utilizado un método muy similar ya en su época en Roma, aunque sin publicar nada. La capacidad de los ordenadores actuales ha hecho que el método de Montecarlo sea una herramienta matemática muy útil en la actualidad para resolver problemas de ciencias e ingeniería.

Finalizada la Segunda Guerra Mundial, la ciencia estaba acelerando sus descubrimientos. En poco tiempo la física cuántica se conectó con la astrofísica: lo gigantesco y lo minúsculo parecían tocarse. Se perfeccionaron los aceleradores de partículas, como el ciclotrón o el sincrociclotrón, y se consiguieron así en el laboratorio aquellas partículas que se habían detectado procedentes de los rayos

cósmicos. En 1951 el nuevo sincrociclotrón de Chicago estuvo operativo y Fermi pudo al fin experimentar con colisiones de protones, neutrones y piones a 450 MeV.

Porque fueron científicos como Fermi los pioneros que se cuestionaron el origen de la radiación cósmica y su relación con fenómenos como los campos electromagnéticos. Fermi colaboró con Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995), con el que coincidió en la Universidad de Chicago y en el Proyecto Manhattan, en varios artículos en los que ambos analizaron el campo magnético en las galaxias espirales así como las inestabilidades gravitacionales en la presencia de los fuertes campos electromagnéticos estelares, en condiciones extremas que se daban lejos, en las estrellas, pero que Fermi sabía muy bien que eran las que se pretendían reproducir en los aceleradores modernos que, paso a paso, iban aumentando las energías posibles de las colisiones que se daban entre partículas.

Edward Lorenz (1917-2008) investigaba en aquella época que los fenómenos atmosféricos no seguían patrones lineales, aunque no sería hasta 1963 cuando publicaría su célebre artículo «Flujo determinista no periódico», que fundaba la moderna teoría del caos determinista. En el caos determinista, aunque se conozcan las ecuaciones del sistema, el resultado del experimento puede ser impredecible, pues, tal y como Lorenz lo llamaría más tarde, puede darse el «efecto mariposa»: una pequeña variación en las condiciones iniciales del sistema cambia profundamente el resultado final de un experimento. Los ordenadores empezaron a facilitar las arduas tareas de cálculo de los investigadores y se realizaron simulaciones en nuevas ramas de la física que nacían para estudiar los sistemas no lineales. De hecho, Ulam y Fermi, junto con John Pasta (1918-1984) y Mary Tsingou (n.1928), ya habían explorado previamente la capacidad de las simulaciones por ordenador para resolver problemas complejos. Fermi estuvo también presente así en el origen de los estudios de la llamada física no lineal o del caos.

A mediados del siglo XX el descubrimiento de nuevas piezas del mundo cuántico complicó el mapa de las piezas elementales de la naturaleza, a la vez que la física atómica ampliaba la tabla periódica con nuevos elementos radiactivos y emergía una floreciente química de materiales que permitiría por ejemplo el desarrollo exponencial de la electrónica moderna, con trabajos como los de William Bradford Shockley (1910-1989), John Bardeen (1908-1991) y Walter Houser Brattain (1902-1987), que obtuvieron en 1956 el premio Nobel de Física por el desarrollo de materiales semiconductores y su descubrimiento del transistor, o el desarrollo del primer láser que llegaría con Theodore Maiman (1927-2007) en 1960.

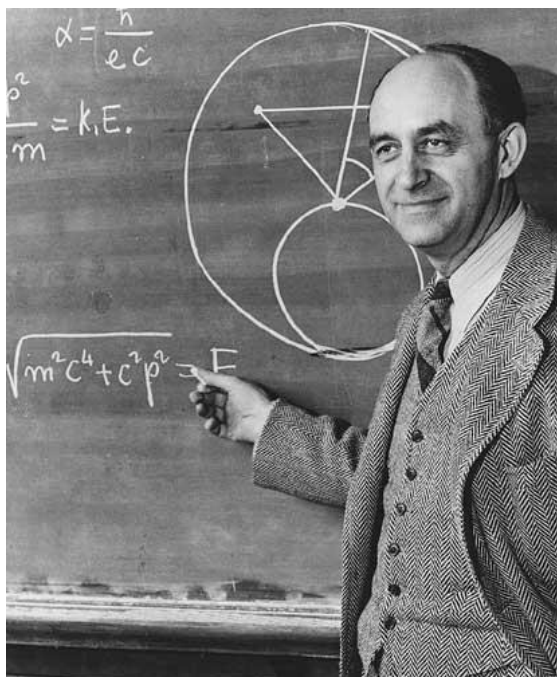
Para la labor ingente de su vida, acortada por el cáncer por el que falleció en 1954, como en el caso de otros muchos pioneros del estudio de la física nuclear, Fermi no dudó en buscar a los mejores colaboradores posibles, muchos de los cuales no han aparecido, por motivos de espacio, en este sucinto repaso biográfico. Por si fuera poco, Fermi fue un gran maestro tanto en Roma como en Chicago, poniendo los pilares de buenas prácticas docentes universitarias, ahora generalizadas, como suministrar apuntes a sus alumnos, muchos de los cuales fueron futuros premios Nobel.

Como espero haya podido seguirse en estas líneas, el legado científico de Fermi no se reduce exclusivamente al desarrollo de la energía nuclear. Su contribución a la ciencia moderna fue crucial también en la física de partículas, la física estadística, la mecánica cuántica, la astrofísica, y en otras áreas incipientes en su época como el desarrollo de la computación, los métodos numéricos y la física no lineal.

Fermi personifica como pocos el tránsito de la ciencia clásica a la ciencia actual. Su capacidad de abordar e integrar problemas diversos fue excepcional, pero no sólo eso: ha sido de los pocos científicos de la historia capaces de profundizar en los fundamentos teóricos de la ciencia a la vez que realizaba experimentos para contrastar sus teorías y desarrollaba las tecnologías e instrumentos necesarios para su trabajo. Por ponerles un ejemplo final: en su época de Roma, cuando a los *Ragazzi*



de Via Panisperna les hizo falta un contador Geiger para sus experimentos, ¡Fermi se construyó uno!  
¿Cuántos científicos actuales serían capaces de fabricarse y calibrar sus propios instrumentos?



*Figura 4: Tras concluir la Segunda Guerra Mundial, Fermi revolucionó la docencia de la física en Chicago.*

Trabajo en equipo, transferencia de tecnología, esfuerzo, constancia y capacidad pedagógica, son valores que personificó Fermi en su existencia y que deberíamos considerar todos los que nos dedicamos a la ciencia o al conocimiento en el siglo XXI.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ACZEL, A. (2012): *Las guerras del uranio*, Barcelona, RBA.
- BERNARDINI, C.; BONOLIS, L. (Eds.) (2004): *Enrico Fermi. His Work and Legacy*, Bolonia, Springer/Società Italiana di Fisica.
- FERMI, L. (1954): *Atoms in the family. My life with Enrico Fermi*, Chicago, The University of Chicago Press, reeditado en 1995.
- HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, A. (2013): *Fermi. La energía nuclear*, Barcelona, RBA, colección Grandes Ideas de la Ciencia.
- SÁNCHEZ RON, J.M. (2001): *Historia de la física cuántica*, Barcelona, Crítica.
- SEGRÈ, E. (1972): *Enrico Fermi, Physicist*. Chicago, The University of Chicago Press.