

## Emmy Noether

por Belén Valenzuela Requena\*

*Cuando era estudiante de físicas a principios de los 90, me quedé totalmente impresionada con el teorema de Noether, denominado por algunos el teorema más bello de la física. Un destello de orgullo y sorpresa me surgió cuando me enteré de que era el teorema de “Emmy” Noether, una mujer. No había oído hablar de ella y era para mí una total desconocida.*

*Al profundizar en su vida y su obra mi admiración creció aún más y es sin duda mi clásico favorito. Con su teorema, Emmy Noether reunificó la física conocida y fundó la base de la física moderna. Noether descubrió que principios básicos de la física tales como la conservación de la energía, del momento, del momento angular y de la carga tienen su base en las simetrías del problema y viceversa. Pero el teorema, dos en realidad, da mucho más de sí. Las matemáticas que Emmy Noether desarrolló posteriormente a sus teoremas son de las más influyentes del siglo XX. Su capacidad unificadora revolucionó el álgebra donde creó escuela. Es un honor y un privilegio para mí tener la oportunidad de escribir sobre Emmy Noether.*



Amalie Emmy Noether nació en Erlangen (Baviera) el 23 de marzo de 1882 en el seno de una familia judía acomodada. Fue la mayor de cuatro hermanos. Su padre era matemático y ella y su hermano Fritz serían matemáticos también. Emmy se crio en un ambiente cálido y seguro.

Max Noether era un matemático reconocido en su Universidad. En su juventud había iniciado estudios de teología en Mannheim que luego abandonó para hacerse comerciante. Gracias a que el padre de Max Noether adquirió una cierta bonanza económica, este se pudo dedicar a estudiar matemáticas. Empezó de manera autodidacta mientras se recuperaba de una enfermedad y después obtuvo el título Universitario completando su formación en varias universidades. En 1880 se casó con Ida Amalia. La madre de Noether era hija de un prospero mercader judío de Colonia.

Emmy vivió en un ambiente rodeado de matemáticas no solo por su padre, sino también por el resto de profesores que visitaba la casa. Los profesores de

Universidad organizaban bailes en los salones y jardines de su casa. A Emmy Noether le gustaba mucho bailar. Más tarde su gusto por el baile inspiró un poema a la matemática Joanne Growney: “Mi baile son las matemáticas” y dos danzas regionales escocesas concebidas por Alice Silverberg.

Noether fue adoctrinada en las labores femeninas de su condición social acomodada. Estudió secundaria en un instituto femenino y pasó sin problemas los exámenes para enseñar inglés y francés. Se esperaba de ella que ocupara un lugar aventajado en la rueda femenina, pero ella decidió salirse de la cómoda rueda.

### Primeros pasos en la Universidad de Erlangen y Gotinga

La Universidad de Erlangen había proclamado que “no daría la bienvenida a ninguna presencia femenina porque era capaz de derrocar todo orden académico”. Pero afortunadamente una cosa son las instituciones y otras las personas. Su padre era matemático y Paul Gordan, reconocido matemático de la Universidad de Erlangen, conocía a Emmy desde niña. Así que en 1900

Emmy Noether entró en la Universidad de oyente pidiendo permiso a cada profesor para poder atender su clase. Había otras mujeres que iban de oyente pero lo hacían para perfeccionarse como profesoras. Pasó el examen de acceso a la Universidad el 14 de julio de 1903. Solo faltaba que alguna Universidad le permitiera matricularse.

Max Noether y Paul Gordan eran ambos expertos en la teoría de los invariantes. A Paul Gordan le llamaban el rey de los invariantes. Invariante significa que el valor numérico de una cantidad no se altera por una transformación de coordenadas. Ambos conocían a Felix Klein de cuando estuvo en Erlangen



Fig. 1. Emmy Noether.

\* Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

en 1872 a sus 23 años. Solo estuvo tres años pero dejó una gran huella. En el programa de Erlangen, Klein definió geometría como la búsqueda de invariantes de un grupo de transformaciones de una variedad. Esta idea jugó un papel esencial en el posterior interés de Klein en la teoría de relatividad de Einstein en el que Noether tendría un papel esencial. Después de muchos periplos, Felix Klein terminó en Gotinga. Klein era un hábil político científico y tenía claro que David Hilbert era el matemático cuyo criterio iba a liderar las matemáticas de su generación. Cuando Klein obtuvo el control de Gotinga consiguió atraer a Hilbert a la Universidad. Klein se convertiría en el editor de la prestigiosa revista *Mathematische Annalen*.

En el invierno de 1903 gracias a la amistad entre su padre y Klein, a Emmy Noether le permitieron realizar un viaje crucial para su carrera a la Universidad de Gotinga. Emmy recibió clases de Felix Klein, David Hilbert, Karl Schwarzschild y Hermann Minkowski entre otros. Como compañero tendría a Hermann Weyl. Emmy Noether se debió sentir como pez en el agua. Además, ni Hilbert ni Klein, prestaban atención a su condición de judía y mujer. Pero la Universidad de Gotinga todavía no dejaba matricularse a las mujeres. Curiosamente, quien ese mismo año permitió la matriculación de las mujeres fue la Universidad de Erlangen.

### Emmy en la Universidad de Erlangen

Con un posible sabor agríndice, Emmy volvió a Erlangen en 1904 y se matriculó en la universidad. Fue la primera mujer en matricularse. Tres años después, el 13 de diciembre de 1907, defendió su tesis "Sobre la construcción del sistema de forma para la forma bicuadrática terciaria", desarrollada bajo la supervisión de Gordan. Trataba de la búsqueda de invariantes en la forma bicuadrática terciaria. En su siguiente artículo extendería los argumentos de su tesis a  $n$  variables. Nunca se mostró muy orgullosa de su tesis, que la vería como un simple ejercicio laborioso iterativo. Sin embargo, sentía una alta estima por su primer maestro Gordan. Aunque su trabajo sobre invariantes no fue de sus favoritos, su dominio sobre el tema fue clave para su carrera y para descubrir su famoso teorema, tan apreciado en física.

A las mujeres las dejaban matricularse, publicar y doctorarse pero no las dejaban pertenecer al grupo docente, con lo que no podían progresar en su carrera. A pesar de no contar con puesto oficial ni cobrar salario, Emmy comenzó a trabajar en el Instituto Matemático de Erlangen asumiendo cada vez más los compromisos de su padre y realizando varias publicaciones. Incluso se hacía cargo de la dirección de tesis de algunos de sus alumnos. En 1909, en Salzburgo, Noether dio su primera conferencia ante los miembros masculinos de la Asociación Alemana de los Matemáticos.

En 1910 Gordan se retiró y le sustituyó Ernst Fischer. Fischer era mucho más joven y había

estudiado con Minkowski, que pertenecía a la nueva corriente encabezada por Hilbert. Con Fischer, Noether despierta su propia intuición, como muestran su correspondencia científica entre 1911 y 1915. Lamentablemente Fischer es llamado a filas para combatir en la Primera Guerra Mundial. De nuevo, esto es una noticia agríndice. Junto a Fischer muchos matemáticos son llamados a filas y en las ciudades quedan las mujeres y los niños. Esto les permite a las mujeres vivir una emancipación inesperada en la retaguardia. Las mujeres tendrán que trabajar en todo tipo de cosas y, en particular, en matemáticas.

En 1915 Emmy recibe una invitación de Klein y Hilbert de la Universidad de Gotinga para ayudarles en el desarrollo de la teoría de la relatividad general. Ellos sabían que Noether era experta en la teoría de los invariantes y eso era lo que ellos necesitaban.

### Universidad de Gotinga

La teoría de la relatividad requería una sofisticada tecnología matemática. El interés de Klein y Hilbert por la teoría vino de la mano de Minkowski con su interpretación geométrica del espacio-tiempo cuadridimensional. Físicos y matemáticos estaban fascinados por un mismo problema, Hilbert se sometió a un curso intensivo de física y Einstein viajó hasta Gotinga para dar una serie de seis clases.

Emmy Noether no pudo asistir a este acontecimiento porque murió su madre y volvió a Erlangen a hacerse cargo de su padre durante unos meses. En contra de las convecciones sociales, su padre la animó a volver a Gotinga. Emmy iba y volvía de Erlangen a Gotinga.

Hilbert y Klein se pusieron manos a la obra para conseguir la habilitación de Noether en la Universidad de Gotinga. La propuesta recibió muchas críticas. Un catedrático diría "Rendir nuestras uni-

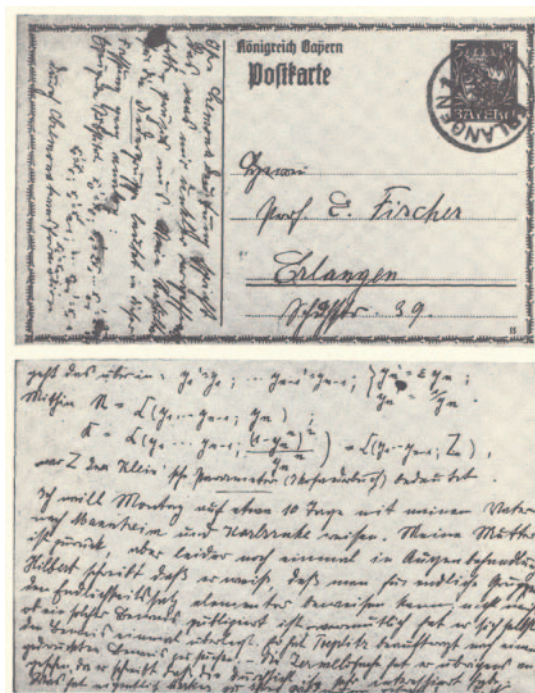


Fig. 2. Postal de Emmy Noether a Fischer.



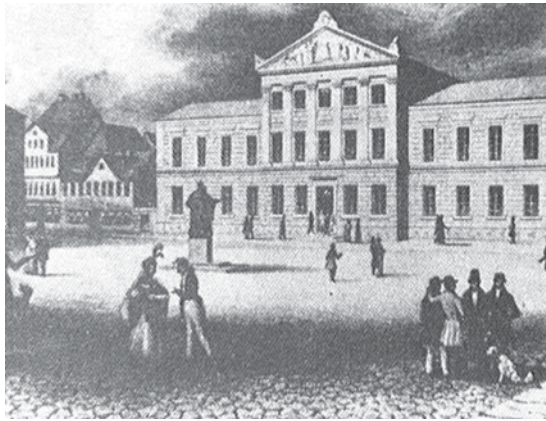


Fig. 3. Universidad de Gotinga.

versidades a la invasión de las mujeres resultaría una vergonzosa exhibición de debilidad moral. ¿Qué pensarían nuestros soldados si al regresar del frente se encontraran que esperamos de ellos que aprendan a los pies de una mujer?”. La famosa réplica de Hilbert fue “Señores míos, no veo que el sexo de la candidata sea un argumento contra su admisión como profesora. Después de todo, la Junta no es una casa de baños”. Aunque el claustro votó por mayoría la admisión de Noether, la administración no lo permitió. Decidieron entonces que Noether daría el curso de Hilbert “Seminario de física matemática. Teoría de invariantes” en el semestre de invierno de 1916/1917.

Mientras tanto, a finales de 1914 Einstein y Hilbert habían llegado independientemente a las ecuaciones de relatividad general. Había sido un gran logro, pero quedaban cabos sueltos: las ecuaciones de Einstein no conservaban la energía. Durante los años 1917 y 1918, Klein y Einstein y Klein y Hilbert se escribieron frecuentemente sobre el problema de la conservación de la energía. Klein lo discutió con Emmy Noether. La ley de la conservación de la energía no era una consecuencia de las ecuaciones que describían la gravitación. Hubo

muchas publicaciones en esta dirección y Emmy Noether dio con la clave del problema.

### Teorema de Noether

Noether descubrió las profundas razones de las dificultades que habían surgido en la interpretación de las leyes de conservación en relatividad general y la conservación de la energía. Utilizó el principio variacional que también había usado Hilbert para deducir las ecuaciones de la relatividad general. La raíz del problema estaba en explicar la diferencia de la Naturaleza de las leyes de conservación en mecánica clásica y relatividad especial por un lado y las de la relatividad general por otro. Antes del teorema de Noether, había resultados aislados relacionando de forma parcial simetrías con leyes de conservación en mecánica clásica y relativista, pero ninguno había encontrado el principio de correspondencia general. En 1918 Noether presentó su artículo “Invariante Variationsprobleme” [1918c], que contenía dos teoremas. Las publicaciones predecesoras serían casos particulares del primer teorema.

El primer teorema, que es el que comúnmente se conoce como teorema de Noether, se refería a la invariancia de la acción respecto a la acción del grupo de Lie. El grupo de Lie está formado por el grupo de transformaciones continuas. Noether era experta en grupos de Lie. Este teorema es la situación típica que se da en física clásica y en la teoría de la relatividad especial. Ella formuló de forma general la correspondencia entre las simetrías de un problema variacional y las leyes de conservación derivadas de las ecuaciones de Euler-Lagrange. Nos ofrece entonces una maquinaria para deducir leyes de conservación si sabemos las simetrías o para deducir las simetrías si sabemos las leyes de conservación. Aún más allá, conociendo las simetrías, el teorema de Noether proporciona un mecanismo para crear la acción. Si la acción es invariante ante un desplazamiento temporal se conserva la energía; si lo es ante un desplazamiento espacial, se conserva el momento lineal; si lo es ante una rotación, se conserva el momento angular; y si lo es ante una transformación gauge interna se conserva la carga y viceversa. Noether dio la llave para entender las leyes de conservación que hasta entonces eran promesas que cumplía la Naturaleza.

Su segundo teorema trata de la invariancia del problema variacional bajo la acción de un grupo del mismo tipo que existe en relatividad general, una teoría covariante general, cuyas ecuaciones de campo son invariantes bajo *cualquier cambio de coordenadas*. Noether así enfatizó que el problema se entiende de forma más general y transparente con la maquinaria de teoría de grupos y que lo que distingue a la relatividad general es la invariancia del grupo respecto a funciones arbitrarias que pueden tener dimensión infinita en contraste con el grupo de Lie que tiene dimensión finita. La relatividad general se

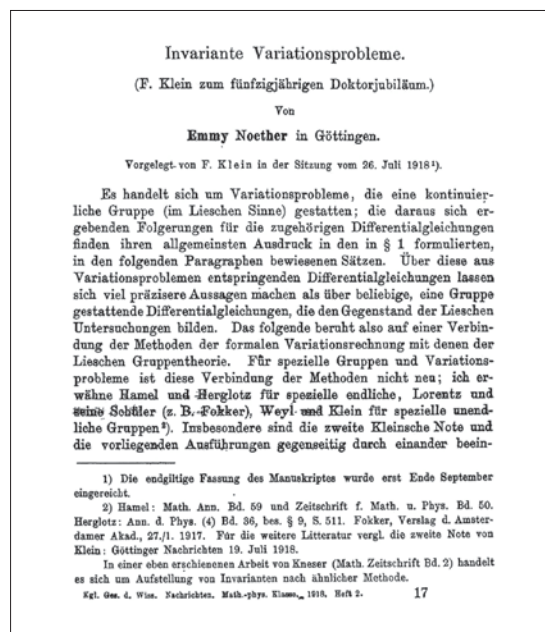


Fig. 4. Artículo de Noether: “Invariante Variationsprobleme”.

describe geométricamente con muchos más grados de libertad de los grados de libertad físicos. Los invariantes del segundo teorema de Noether proporcionan ligaduras entre estos grados de libertad muy importantes para acotar el problema. Pero de los invariantes de su segundo teorema no se podía deducir que la energía se conservaba como había intuido Hilbert sin demostrarlo. El problema de la conservación de la energía en relatividad general se empezó a entender mucho después, en los años sesenta, cuando se formuló de forma Hamiltoniana. Finalmente, Witten demostró el último cabo suelto en 1981: que la energía era positiva.

Emmy Noether también enfatizó al hilo del pensamiento de Klein en su programa de Erlangen “que el término de relatividad que se usa en física debería de sustituirse por invariancia respecto a un grupo”.

En 1918 Einstein escribió a Hilbert sobre el trabajo de Emmy Noether “ayer recibí de la señorita Noether un trabajo muy interesante sobre la generación de invariantes. Estoy impresionado que estos asuntos se puedan entender desde un punto de vista tan general. La vieja guardia de Gotinga debería aprender de la señorita Noether. Verdaderamente sabe lo que hace”.

Ese mismo año Einstein también escribió a Klein una carta en la que decía: “Por lo que hoy te escribo es por otra cosa. Después de haber leído el nuevo artículo de la señorita Noether vuelvo a sentir que negarle el derecho a enseñar es una gran injusticia. Sería favorable a tomar pasos energéticos en su favor ante el ministro. Si piensas que esto no es posible entonces me tomaré la molestia de hacerlo solo”.

En los artículos de Klein de 1918 donde discute las leyes de conservación de la relatividad general declararía “Sería descuidado si no agradeciera a la señorita Noether una vez más por su participación activa en su nuevo trabajo. Ella independientemente ha establecido la forma propia de las ideas matemáticas que he usado en conexión con los problemas de física...”.

### Habilitación en Gotinga y cénit de su carrera

El 4 de junio de 1919 Emmy Noether presentó su trabajo con el apoyo de Hilbert, Klein y del matemático Richard Courant en un nuevo intento de conseguir la habilitación como profesora de la Universidad de Gotinga. Después de resumir su publicaciones previas Emmy dijo: “Los últimos dos estudios que mencionaré conciernen los invariantes diferenciales y los problemas variacionales que en parte ha sido el resultado de la ayuda que di a Klein y Hilbert en su trabajo sobre la teoría de la relatividad de Einstein [...]. El segundo estudio, “Invarianten Variationsprobleme”, que he elegido para presentar mi tesis de habilitación trata de grupos continuos finitos o infinitos, en el sentido de Lie, y deriva las consecuencias de la invariancia del pro-

blema variacional bajo tales grupos. Estos resultados generales contienen, como casos particulares, los conocidos teoremas de las integrales de movimiento en mecánica y, además, los teoremas de conservación y las identidades entre las ecuaciones de campo de la teoría de la relatividad, mientras, que por otro lado, la demostración del reverso de estos teoremas también se presenta [...]”.

Emmy Noether se convertiría así en la primera mujer habilitada de la Universidad de Gotinga. Cuando ya había realizado varios trabajos de investigación, dirigido varias tesis y era conocida su influencia como docente, por fin podía dar clases con su propio nombre. Eso sí, el título era “privatdozent”, es decir, no tenía sueldo reglado. Solo lo que los alumnos que quisieran asistir a sus clases le quisieran conceder. Eran malos tiempos para la caridad debido a la durísima postguerra de la Primera Guerra Mundial, que se cebó especialmente con la gente joven. Muchos se verían obligados a abandonar sus estudios. Max Noether murió en 1921 y se aseguró de que su hija recibiera una herencia que la permitiera continuar con su carrera. Pero Emmy utilizó este dinero para apoyar a su hermano más pequeño, Gustav Robert, que había nacido con una deficiencia mental. En 1923, cuando Emmy tenía 41 años, su situación económica era desesperada y Courant, utilizando algún subterfugio para esquivar la burocracia, consigue por fin un contrato anual renovable con un modesto salario que le permite a Emmy seguir adelante.

Científicamente la vida de Emmy Noether tiene mucho más esplendor. En 1920 escribiría su “teoría de los ideales de los anillos”. En estos estudios aborda la teoría de anillos e ideales desde una perspectiva totalmente innovadora. Durante el semestre de 1928, Noether dio un curso de álgebra abstracta como profesora invitada de la Universidad de Moscú. Allí estuvo trabajando con Lev Pontryagin. También fue profesora invitada en Frankfurt en el verano de 1930. 1932 fue el cénit de su carrera con su artículo “Álgebra no conmutativa”. Lo presentó en una comunicación plenaria en el Congreso Internacional de Matemáticos de Zurich y fue un triunfo para la línea de investigación que representaba. De nuevo, fue la única mujer del congreso. Junto con Emil Artin, uno de sus alumnos, en diciembre recibió el premio conmemorativo “Ackermann-Teubner”.

Noether seguía ganando el mismo modesto salario aunque sus colegas matemáticos siguieran luchando por cambiar su situación y fuera un punto de referencia mundial. Courant le consiguió que al menos tuviera un despacho más amplio y espacioso que el de los demás, un pequeño gesto de reconocimiento. Noether también era una influente editora de *Mathematische Annalen*, aunque nunca figuró en la primera página de la revista.

La cantidad de conceptos que llevan su nombre da una idea de sus muchos descubrimientos: los teoremas de Noether, los anillos noetheria-



Fig. 5. Estudiantes de Noether (from Peter Roquette talk).

nos, el teorema de Noether-Lasker, el teorema de Noether-Skolem, el teorema de Noether-Brill, el espacio noetheriano, la dimensión de Noether, los pares Banach Jordan noetherianos, los espacios topológicos de Noether, los grupos noetherianos, etc.

El hilo conductor del trabajo de Noether fue su capacidad mayúscula para la abstracción. En sus propias palabras las relaciones entre números, funciones y operaciones solo se volvía “clara y aplicable genéricamente, en toda su riqueza, después de haber sido aislada de los objetos particulares, estableciéndose en la forma de conceptos válidos universalmente”.

### Escuela de Noether

La segunda pasión de Noether fueron sus estudiantes. También se vislumbra en Noether una capacidad creativa a medida que argumentaba enérgicamente sobre las matemáticas. Primero en su correspondencia con Fischer. Después con Hilbert y Klein sobre la relatividad de Einstein y finalmente, a partir de 1920, en sus discusiones con sus estudiantes.

Emmy no era una profesora convencional. Le gustaba pasear con sus estudiantes y discutir pasionalmente sobre cuestiones matemáticas. Hablaba con ellos en cualquier momento cotidiano del día sin importar lo que estuviera haciendo. Le gustaba plantear los problemas desde todos los ángulos posibles y las clases, más que conferencias, eran debates. Por supuesto, había alumnos a los que no les gustaba este método. Esta relación con sus estudiantes contrastaba con el resto de profesores, que mantenían la común relación jerarquizada basada en la autoridad.

El reconocido matemático Van der Waerden fue uno de sus alumnos. Según él, Noether presentaba a sus estudiantes teorías incompletas que luego ellos podían desarrollar y, lejos de pretender

autoría, se sentía orgullosa de la promoción de sus alumnos. Entre 1920 y 1926 las teorías del álgebra de Noether eran tan innovadoras que forzosamente tenían que chocar con la inercia de las matemáticas establecidas. Durante este tiempo la escuela de Noether es una escuela marginal formada principalmente por sus estudiantes formados en sus clases. Se les llamaba “los chicos de Noether”. Tenían un gran respeto por su mentora e incluso imitaban su falta de interés por las apariencias. Igual que Noether vestían algo descuidados en contraste con la vestimenta uniformada usual en aquella época para ir a la universidad.

Otro matemático reconocido alumno suyo fue el ruso Pavel Aleksandrov. Aleksandrov y Noether se hicieron grandes amigos y se ayudaron mutuamente en momentos difíciles. Aleksandrov recuerda su temprana conversión a la escuela de Noether “Hopf y yo adoptamos de inmediato el punto de vista de Emmy Noether, pero por algún tiempo nos encontramos entre un reducido grupo de matemáticos”.

Bartel van der Waerden, a sugerencia de otro alumno de Noether, Emil Artin, escribió un famoso e influyente libro en dos tomos inspirado en las nuevas tendencias del álgebra: *Álgebra moderna* (1930). El segundo tomo está basado en las lecciones de Noether. El libro también recogería las investigaciones de Hilbert, Dedekind y Artin. Según muchos algebristas este es el libro más influyente de las matemáticas del siglo xx. Aleksandrov diría “en la brillante presentación de Waerden, las ideas de Emmy Noether rindieron al público matemático, primero en Gotinga y después en los principales centros matemáticos de Europa”. Gracias al libro vinieron estudiantes de todo el mundo a recibir las lecciones de Emmy Noether, convirtiendo a Gotinga en una Universidad de un mayor reconocimiento internacional. Esta sería la segunda escuela de Noether.

### Carácter de Emmy Noether

Emmy Noether mostraba poco interés por las preocupaciones mundanas, en particular prestaba poca atención a su aspecto físico. Vivió una vida simple y modesta independientemente de los altibajos de sus ingresos.

Al igual que Albert Einstein era pacifista, lo que no estaba bien visto en aquella época donde la guerra era una prueba de honor y de deber a la patria. Emmy se había manifestado como pacifista durante la Primera Guerra Mundial y despreciaba el nacionalismo radical.

Aunque la gran ocupación de Noether eran las matemáticas, había militado en dos partidos socialistas. Aleksandrov, su gran amigo, era comunista militante del régimen ruso. También recibía en su casa a grupos de estudiantes de izquierdas.

En sus cartas se puede intuir una Noether impulsiva, con nervio y vitalidad. Hablaba muy deprisa, con gran excitación y en voz alta. Cuentan muchas



anécdotas sobre sus despistes. Perdía las horquillas cuando se apasionaba hablando de algún tema de matemáticas. A veces se ensimismaba tanto en sus discusiones que sus alumnos la sujetaban para que no se chocara con puertas o con el tráfico. Noether también era hospitalaria. Organizaba fiestas en su buhardilla a las que asistía desde sus alumnos hasta Hilbert. Según Aleksandrov, Noether recibía numerosas visitas sin necesidad de invitación.

Sus colegas dirían que a Noether no le gustaba mostrar su turbación a los demás ante las dificultades. Su carácter lo podemos entrever entre los comentarios de sus contemporáneos. Weyl diría de ella: “cálida como una barra de pan. Irradiaba una viva y confortante calidez, que todo lo envolvía” y también que tenía “la más viva de las imaginaciones”. Aleksandrov nos hablaba de una Noether con más carácter: “Tenía sus propias opiniones y era capaz de avanzarlas con fuerza y tenacidad. Aunque pacífica y conciliadora, su carácter también era apasionado, temperamental y decidido; siempre sostenía sus puntos de vista con franqueza y no temía la oposición”. Auguste Dick, nos presenta una Noether que sentía poco aprecio a las labores administrativas y nos dice “Emmy Noether se comportaba a menudo poco amistosa con la gente que no compartía su manera de pensar”.

### Dominación Nazi

Emmy Noether era una gran reconocida matemática cuando los nazis llegaron al poder en enero de 1933. Ya en 1932 las juventudes nazis echaron a Emmy Noether de su casa alegando que no podían vivir con una judía marxista. Los nazis enseguida vieron la Universidad de Gotinga como una gran amenaza al régimen. El carácter abierto de Klein y Hilbert respecto a la incorporación de las mujeres a la Universidad, la tolerancia respecto a las consideraciones raciales y las ideas políticas hizo que durante el nazismo se les acusara de constituir una conspiración judía. El álgebra abstracta, la relatividad general y la física cuántica se consideraban grandes teorías dogmáticas de la dominación judeo-marxista.

El 26 de abril de 1933 suspendieron a Emmy Noether junto con otros colegas como Courant y Max Born. En el expediente de Noether escribieron: judía que hacía gala de una filosofía marxista. Se escribieron cartas para apoyar a Emmy Noether para que fuera reintegrada en su puesto. Un grupo de sus alumnos argumentaba que ellos eran arios y que las matemáticas que creaba debían incorporarse al patrimonio del pensamiento ario.

Durante los meses de espera de la respuesta de la administración, Emmy Noether daba clases de forma clandestina. Weyl diría: “Su coraje, su franqueza, su despreocupación acerca de su propio destino, su espíritu conciliador en mitad del odio, la mezquindad, la desesperación y el dolor que nos asfixiaban, supusieron todo un consuelo moral”. El 13 de septiembre se le confirma oficialmente



Fig. 6. Emmy Noether con sus amigos.

su cesión y el paso de los acontecimientos con las amenazas constantes del régimen y la quema de libros en las universidades hace evidente que los nazis no son algo transitorio y que hay que buscar un hogar en otro lugar.

Noether recibió una oferta para dar clase en la Universidad de Bryn Mawr, la primera Universidad americana que ofrecía doctorado a las mujeres. Entre las matriculadas había un premio Nobel de la Paz, varios premios Pulitzer y la actriz Katharine Hepburn. A la cabeza del departamento de matemáticas estaba Ann Pell Wheeler que se había formado a principios de siglo en Gotinga con Klein. A finales de octubre de 1933 Noether puso rumbo a America. Por primera vez tuvo un puesto de profesora con un sueldo acorde. Gracias a la mediación de Weyl y Einstein, Noether también pudo dar clase en la Universidad de Princeton, ocho horas a la semana. Pasaba de dar clases a solo mujeres en Bryn Mawr a solo hombres en Princeton.

En verano de 1934 Emmy regresa a Alemania a recoger sus pertenencias de la casa de Gotinga y a visitar a sus amigos. Debió de encontrarse con una imagen fantasmal de la Universidad. Emmy despidió a su hermano Fritz, que emigra a Siberia, al instituto matemático de Tomsk. Este viaje deja una profunda impresión en ella. Toma plena conciencia de que su hogar en Alemania ya no existe ni va a existir.

El lunes 8 de abril de 1935 Noether se sometió a una sencilla operación quirúrgica para extirparle un tumor uterino. En apariencia la operación se desarrolló sin incidentes y Noether se recuperaba convenientemente. Sin embargo a los pocos días empeoró drásticamente y murió el 14 de abril a los 53 años. No se conoce exactamente la causa de su muerte. Su cuerpo fue incinerado y su urna está en Bryn Mawr.

Después de la muerte de Noether se publicaron muchos elogios.

Einstein publicó una necrología sobre Emmy Noether el 5 de mayo de 1935 en el *New York Times* de la que incluimos un párrafo: “Bajo los esfuerzos dirigidos a la obtención de bienes materiales —escribía entonces— se encuentra con demasiada frecuencia la ilusión de que este propósito es el más importante y deseable que cabe alcanzar; por fortuna, existe una minoría de personas que descubren desde una edad muy temprana que la más hermosa y satisfactoria experiencia al alcance del hombre no deriva del mundo de las apariencias, sino que se encuentra íntimamente ligada al desarrollo de los propios sentimientos, de su trabajo y de su inteligencia. Los verdaderos artistas, científicos y pensadores han sido siempre personas de esta especie. Por anonimamente que discurran sus vidas, los frutos de sus esfuerzos son la contribución más valiosa que cada generación puede entregar a la siguiente [...] En el reino del álgebra, donde se afanaron durante siglos los matemáticos más dotados, ella descubrió métodos de enorme importancia. Las matemáticas puras, a su manera, llegaron a componer una especie de poesía de la lógica”.

Weyl escribió “estoy avergonzado de haber ocupado una posición preferente en Gotinga respecto a ella, que era superior a mi en matemáticas en muchos aspectos [...] Tradición, prejuicio, consideraciones externas, desequilibraron la balanza en contra de sus méritos y su grandeza científica, que entonces ya nadie podía negar [...] Si en Gotinga nos referíamos a ella como Sir Noether (usando el artículo masculino) era como un signo de respeto y reconocimiento hacia su poder creativo [...]”.

Van de Waerden, editor entonces de *Mathematische Annalen* en plena dominación nazi de Alemania, se atrevió a escribir en los *Annalen*: “Nuestra ciencia ha sufrido una pérdida trágica”. En el penúltimo párrafo Van der Waerden destacó por fin sus labores como editora en los *Annalen*.

### Influencia del Teorema de Noether

Muchos libros y artículos han discutido su vida como algebrista [4], sin embargo, la mayoría de los matemáticos que escribieron sobre Noether ignoraron su teorema. Los teoremas de Noether de 1918 se resumieron en el libro de Courant y Hilbert (1924), pero después quedaron prácticamente olvidados. Aunque Einstein y Weyl habían alabado su trabajo no lo citaron en sus publicaciones.[3] En palabras de Aleksandrov: “Parte puede ser porque ella era una mujer, era judía y era una matemática ayudando a físicos”. Pero posiblemente también porque se estaba anticipando a su tiempo. Noether, al introducir el concepto general de grupos de Lie, prácticamente desconocidos para los físicos, se adelantó al uso de teoría de grupos que luego utilizaría Hermann Weyl en 1928 y Eugene Wigner en 1931. Además, si bien Hilbert era partidario del principio variacional, no lo eran ni Klein, ni Pauli, ni Einstein, ni Weyl. Los principios variacionales se impusieron como

el lenguaje contemporáneo moderno a finales de la década de los cincuenta, como se puede ver en DeWitt (1957), casi 30 años después del teorema de Noether.

Entre los años cincuenta y ochenta las citas al artículo de Noether seguían siendo escasas e incompletas. En 1951, Edward L. Hill, reintrodujo los teoremas de Noether en una publicación de forma parcial ignorando el segundo teorema y tratando el primer teorema solo para casos particulares sencillos. Durante los posteriores 30 años el artículo de Hill era la fuente con la que se conocería “el teorema de Noether” [3].

En los años setenta, con el desarrollo de la teoría de los sistemas integrables, el primer teorema de Noether empezó a usarse sistemáticamente. Las simetrías del Lagrangiano permitían obtener las leyes de conservación que ayudaban a encontrar las ecuaciones variacionales de Euler-Lagrange. Se usó también en teoría clásica y cuántica de campos, en mecánica de fluidos, en óptica geométrica y a partir de los años ochenta en elasticidad. La generalidad del teorema de Noether hacía posible usarlo en cualquier problema variacional. Es la base de la física moderna en la que primero se piensa en las simetrías del problema para luego construir la acción que explique o parte del Universo o el Universo entero.

La historia del segundo teorema no solo está relacionada con la relatividad general, sino también con la geometría diferencial, las teorías gauge y sus generalizaciones, como las teorías gauge no abelianas y supergravedad. Los invariantes de la acción bajo una transformación gauge infinitesimal restringen los grados de libertad superfluos.

Las líneas de transmisión en las que los teoremas de Noether se pueden aplicar se han multiplicado según se ha conocido el contenido completo de su teorema.

### Conclusión

Podríamos decir que a Emmy Noether no le inquietaban en absoluto las normas convencionales establecidas. Ella tenía su forma de vestir, su forma de pensar en política, su forma de enseñar al estilo socrático, sus relaciones cercanas y su forma de hacer ciencia, rompiendo moldes y creando nuevas tendencias con su enorme capacidad creadora.

Muy unido a lo anterior, Emmy Noether era una experta luchadora silenciosa. Y en su lucha silenciosa una mujer judía consiguió, en las primeras décadas del siglo xx, realizar el teorema más bello de la física, que fundaba la física moderna, revolucionar el álgebra, crear una gran escuela y aumentar el prestigio internacional de su ya importante Universidad. Se diría que la lucha silenciosa de Emmy Noether sigue actuando hoy en día extendiendo sus ideas por todos los rincones.

Emmy Noether sacó su propio brillo interior y lo compartió con los demás independientemente



de los acontecimientos o de las dificultades que se le pusieran a su paso. Y ese brillo sigue propagándose hoy en día.

### Referencias:

- [1] DAVID BLANCO LASERNA, *Emmy Noether, una matemática ideal* (2011).
- [2] DWIGHT E. NEUENSCHWANDER, *Emmy Noether's Wonderful Theorem* (2010).
- [3] YVETTE KOSMANN-SCHWARZBACH, *The Noether's Theorems. Invariance and Conservation Laws in the Twentieth century* (2011).
- [4] VER DICK (1970, 1981); KIMBERLING (1981); SRINIVASAN y SALLY (1983); TEICHER (1999); CURTIS (1999), etc.
- [5] LEON M. LEDERMAN y CHRISTOPHER T HILL, *Symmetry and the Beautiful Universe* (2004).
- [6] PAVEL ALEXANDROV, "In Memory of Emmy Noether", en JAMES W. BREWER y MARTHA K. SMITH (1981).

