

MERCEDES SILES MOLINA

*¿Qué sería de la relatividad sin las
Matemáticas?*



Emmy Noether nos da la respuesta

Este texto recoge la conferencia que impartí en el Salón de Grados de la Facultad de Derecho de la Universidad de Málaga el 9 de marzo de 2015 con motivo de la celebración del 8 de marzo, Día Internacional de la Mujer, invitada por la Unidad de Igualdad de la Universidad de Málaga y por el decano de la Facultad de Derecho.

© Del texto: Mercedes Siles Molina

© Diseño portada y maquetación: Mercedes Siles Molina

Reservados todos los derechos. Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo sanciones establecidas en la legislación vigente.

Imagen de la portada: Emmy Noether, fotografía en la página web del Perimeter Institute for Theoretical Physics.

http://www.perimeterinstitute.ca/sites/perimeter-www.pi.local/files/styles/large/public/emmy%20noether_0.jpg

La capacidad de las mujeres

Buenos días. Agradezco a la Unidad de Igualdad de la Universidad de Málaga haberme invitado a estar hoy aquí, en la conmemoración del Día Internacional de la Mujer, porque ello me permite rendir homenaje a una gran mujer, una gran figura, muy conocida en el ámbito de las Matemáticas y en el de la Física, pero no en general, a pesar de su gran contribución a una de las teorías que más relevancia han tenido científica y socialmente: la de la relatividad, que, precisamente en 2015, cumple 100 años.

La principal diferencia entre las capacidades intelectuales de los dos sexos se manifiesta en que el hombre alcanza una mayor excelencia que la mujer en cualquier tarea que emprenda.

La descendencia del hombre
Charles Darwin

Quiero comenzar con esta sentencia de Charles Darwin porque sintetiza el pensamiento que durante siglos ha pervivido, y aún perdura, en relación con las capacidades intelectuales de las mujeres.

Aún hoy se sigue pensando que no servimos para las ingenierías, para las matemáticas, para algunas ciencias; la idea está muy arraigada, aunque ahora se manifiesta de manera más sutil.

La mujer de la que voy a hablar hoy, Emmy Noether, fue sin duda una pionera, demostró que las mujeres sí estamos capacitadas para las ciencias.

Emmy Noether tuvo a bien nacer el 23 de marzo de 1882 en Erlangen, Baviera, recién incorporada como estado al imperio alemán. Hacía 11 años que había dado comienzo el II Reich, es decir, el Segundo Imperio Alemán, en 1871, que duraría hasta 1918. Emmy Noether moriría el 4 de abril de 1935, apenas dos años después de que Hitler fuera nombrado canciller (el 30 de enero del 33).

Para que nos hagamos una idea más clara del contexto social en el que Noether vivió, decir que el propio emperador se ocupaba de recordar que:

La principal tarea de la mujer alemana no consiste en asistir a reuniones públicas o pertenecer a ciertas sociedades, cuyo único propósito es conseguir unos supuestos derechos que les permitan emular a los hombres, sino en la callada labor del hogar y la familia.

Obsérvese que se habla de una imitación por parte de la mujer de lo que hace el hombre. Se trata de poner coto a ciertas tendencias que ya apuntaban: en 1869, dos años antes de convertirse en emperador Guillermo I, otra mujer, Sofía Kovalevskaya, nacida en Moscú, tuvo la osadía de anunciar su intención de matricularse en la universidad de Heidelberg, la más antigua de las universidades alemanas, creada en 1386.

Era mucha la perturbación que suscitaba la idea de que su ejemplo fuera seguido por otras mujeres. Kovalevskaya consiguió doctorarse en Matemáticas en Gotinga, gracias a los esfuerzos de un famoso matemático de nombre Karl Theodor Wilhelm Weierstrass, y obtuvo una plaza fija como profesora en la Universidad de Estocolmo. Esto fue lo que en realidad causó gran revuelo en Alemania, precisamente cuando comenzaba a tratarse el tema de si las mujeres debían acceder o no a la enseñanza superior.

Esta controversia fue discutida incluso en el parlamento alemán y aparece en una novela de la época escrita por Wolzogen, libretista de Strauss. Un personaje de su obra "El tercer sexo" habla de eso, del tercer sexo, para referirse a la aparición de las mujeres que rechazan el matrimonio burgués y piden los mismos derechos para hombres y mujeres.

Si traigo a colación este hecho es porque quizás pueda parecer que esta idea desapareció hace mucho tiempo. Nada más allá de la realidad. Recuerdo que cuando yo era estudiante, las estudiantes y los estudiantes de la Facultad de Medicina de nuestra universidad habían de seguir en la asignatura de ginecología un libro, conocido por "el botella", de dos autores, ginecólogos, Botella y Clavero, en el que se decía, y cito textualmente:

...Lo importante de la ginecología psicosomática, cada vez más llena de cuadros clínicos que a la vez cada día son más frecuentes, no es su diagnóstico ni su tratamiento, sino su profilaxis. Y su profilaxis es social, atacando el mal de la vida moderna en su raíz, volviendo la mujer a su rango y su misión biológica, y en vez de reducir la semana de trabajo a 40 o 36 horas para los hombres, como ahora está de moda, dejar a estos que trabajen más y que la sociedad utilice las ventajas del maquinismo y del automatismo, no para la holganza del varón, sino para procurar un descanso a la mujer y evitar así que esta se convierta en una "obrera" asexual de un hormiguero o de una colmena

Tratado de Ginecología, vol. 3, pg. 738
José Botella y José A. Clavero

Así que, para estos autores, la mujer que trabaja es una "obrera asexual". Y esta definición estaba dirigida a mujeres que en el futuro habían de dedicarse a la medicina, a mujeres que hoy en día están practicando la medicina.

Volviendo a la etapa que nos ocupa, la de Noether, decir que en el ámbito científico se buscaron justificaciones para que la mujer no desempeñara nuevos roles. Neurólogos, anatomistas, psiquiatras, ginecólogos, etc., procuraron infinitos argumentos para respaldar la tesis de la inviabilidad de la emancipación de la mujer.

Así, se hablaba de la importancia del peso del cerebro, y, como las mujeres lo tenían más pequeño, se hablaba de la debilidad mental de la mujer.

El mismo Erick Fromm, bien afamado, publicó en 1956 un libro muy conocido y que ha ejercido una gran influencia en la sociedad de la que procedemos y en nuestra forma de pensar que aún hoy pervive. Se trata de “El arte de amar”, en el que clasifica las cualidades que definen lo masculino y lo femenino, lo que representa el padre y lo que representa la madre, ambas como contrapuestas. Así, el padre significa:

...el mundo del pensamiento, de las cosas hechas por el hombre, de la ley y el orden, de la disciplina, los viajes y la aventura. El padre es el que enseña al niño, el que le muestra el camino hacia el mundo.

Los distintos ejemplos que he mencionado son demostraciones de que la ciencia, o parte de ella, no siempre es objetiva, está condicionada por la sociedad en la que se gesta.

En 1897 el periodista berlinés Arthur Kirchhoff, publicó “La mujer académica: informe de destacados profesores universitarios, educadores de mujeres y escritores sobre la capacidad de la mujer para el estudio y las ocupaciones científicas”, basado en una encuesta realizada entre más de cien personalidades del mundo de la cultura y la enseñanza en Alemania. El resultado de la encuesta fue el que sigue: cerca de la mitad de los encuestados se mostró a favor de que la mujer accediera, bajo ciertas condiciones, a la educación superior. Sólo una reducida minoría lo hacía sin ninguna reserva, y un tercio se declaraba decididamente en contra. Entre los más abiertos: los matemáticos y los escritores.

En multitud de ocasiones se recurría a la naturaleza para garantizar el orden social: “las mujeres son por naturaleza contrarias al trabajo intelectual”, como afirmaba Max Planck, físico de renombre, y añadía que “las leyes de la naturaleza no pueden ser ignoradas, sin grave prejuicio, bajo ninguna circunstancia”. Y Planck no era un caso particular.

Erlangen (hasta 1915).

Erlangen es una ciudad en la que su universidad tuvo y tiene gran importancia, es una de las tres únicas universidades alemanas que fueron fundadas con independencia de la religión. Actualmente se caracteriza también por el gran uso de la bicicleta que se hace en la ciudad, y porque Siemens tiene allí prácticamente la totalidad de su infraestructura, trasladada desde Berlín tras la Segunda Guerra Mundial.

Debe su celebridad al conocido como “Programa Erlangen”, que fue enunciado por Felix Klein y que esencialmente establecía que “cada geometría corresponde al estudio de los invariantes de un grupo de transformaciones determinado”. Por ejemplo, la geometría clásica, la de Euclides, la que se establece según sus postulados (por dos puntos pasa una única recta, por un punto exterior a una recta pasa una única recta que es paralela a la recta dada, etc.), estudia las propiedades del espacio que permanecen invariantes por traslaciones. La longitud y el área, por ejemplo, permanecen invariantes. No todas las geometrías son de este tipo. Por ejemplo, para poder establecer la teoría de la relatividad, se necesita una geometría no euclídea. El tiempo, en la teoría de la relatividad, no permanece fijo, como veremos más adelante, de ahí que se diga que se curva.

Klein llegó a Erlangen con 23 años, en 1872, y se quedó allí tres años. Lo menciono porque tendrá un relevante papel tanto en la teoría de la relatividad como en la vida de Emmy Noether.

Desde mediados del siglo XIX la teoría de invariantes era la moda entre algebristas, también hay modas en las Matemáticas. Uno de los más fieles devotos de esta teoría era Paul Gordan, que dirigiría la tesis doctoral de Emmy Noether, y a quien se conocía por el sobrenombre de “el rey de los invariantes”.

Hubo otro matemático de renombre que pasó por el Departamento de Matemáticas de la Universidad Friedrich-Alexander de Erlangen: Max Noether, padre de Emmy Noether. Max Noether fue el primero en su familia en tener un título universitario, y, además de Emmy Noether, que fue su hija mayor, otro de sus hijos, Fritz, el pequeño, también se dedicó a las Matemáticas, así como un hijo de este. Sin embargo, aunque fueron considerados todos buenos matemáticos, los logros de Emmy Noether eclipsaron el brillo de los demás Noether.

La madre de Noether, Ida Amalia Kaufmann, era de una familia que gozaba de buena posición. La pareja, con sus hijos, vivía en un apartamento en un bloque de pisos de la calle Nuremberg. Con frecuencia visitaban al padre sus compañeros matemáticos y Emmy Noether tuvo, desde niña, la oportunidad de escuchar las discusiones que mantenían, aunque no comprendiera siempre lo que decían.

Es importante destacar este ambiente universitario y la buena posición de la familia, porque sin ambos no habría sido posible que Emmy Noether pudiera dedicarse a la investigación y llegara a donde llegó.

Parece ser que los biógrafos de Noether, como los de personas destacadas, buscan en su etapa de infancia y juventud episodios que puedan ser destacados y que muestren que en ellas se preveía el espléndido porvenir de la persona considerada. Pero no es el caso de Noether. Parece que no se tienen noticias de un episodio destacable hasta que tuvo 18 años, edad en la que parece que resolvió de manera muy rápida e ingeniosa un acertijo, aunque no se menciona cuál fue.

Noether, como mujer que era, participaba en las labores domésticas: cocinaba, limpiaba, etc. Inició sus estudios de secundaria en un instituto femenino de jóvenes burguesas. Allí recibió lecciones de alemán, aritmética, inglés, francés y piano. No parece que desarrollara inclinación hacia la música. Una de las pocas aficiones que se le conoce parece ser la de la danza.

En 1900 se presentó a los exámenes que efectuaba el estado de Babiera para obtener un título que le permitiría enseñar inglés y francés en centros similares a aquel en el que había estudiado. Tuvo pues, inicialmente, una enseñanza femenina, que habría de cortarse en ese punto, para no romper con lo socialmente establecido.

Tuvieron que pasar 3 años para que Babiera permitiera el acceso de las mujeres a la universidad. Las razones que daba la Universidad de Erlangen para no permitir dicho acceso era que, de lo contrario, se derrocaría todo orden académico. Así pues, Noether, que inició un camino no al uso, comenzó a asistir a la universidad de mera oyente.

En 1868 Gordan publicó un artículo donde desarrollaba una base completa para cada forma binaria. En 1888 Hilbert, que contaba con 26 años, planteó una estrategia distinta para el estudio de los invariantes. Mientras Gordan calculó algunos, Hilbert demostró su existencia en el caso general.

El último coletazo de la teoría de invariantes, abordados desde el punto de vista de Gordan, sería la tesis de Emmy Noether, dirigida, como hemos dicho, por él, en la que ella haría demostración de grandes dotes para el cálculo

computacional. Posteriormente ella misma hablaría mal de su tesis, pero no es que fuera mala, en opinión de las personas expertas, es que fue tal el tamaño y la grandeza de su obra posterior, que no es de extrañar que la considerara una obra menor.

Tampoco cabe colegir de aquí que tuviera mala imagen de su director de tesis. Muy al contrario. Parece que, entre las pertenencias que llevaba consigo y que le permitían hacer hogar allí donde se estableciese, siempre iba la foto de su primer maestro.

Noether supo encarnar la transición entre las técnicas de Gordan y las de Hilbert, y esto habría de jugar un papel importante en la propia teoría de la relatividad.

En la década de 1890 había cierto declive en Erlangen. Eran pocos los estudiantes (en masculino) que eran atraídos por Gordan y Noether padre. Por el contrario, Berlín, Zúrich y Gotinga, irradiaban energía al encontrarse allí matemáticos de la talla de Frobenius, Hurwith, Hilbert y Minkowski.

Entre 1900 y 1902 Emmy Noether comenzó a preparar la prueba de madurez, que era el requisito previo para acceder a la universidad. Pasó el examen en Núremberg el 14 de julio de 1903. Ahora que reunía las condiciones necesarias, lo que faltaba era que alguna de las universidades alemanas la admitiera.

Gracias a la amistad de su padre con Félix Klein, que estaba ahora en Gotinga, éste consigue que la Universidad de Gotinga la admita como oyente. Ocurriría en el semestre de invierno del curso 1903-1904. El trasladarse a una ciudad que estaba a unos 230 kilómetros de Erlangen supuso un cambio de gran trascendencia para la vida de Noether.

Gotinga, como describiría el matemático Richard Courant unos años después, era un pueblo a cierta distancia de su estación de tren, recorrido que habías de hacer a pie, a no ser que tuvieras la suerte de encontrar por casualidad un coche tirado por caballos. Estaba situado entre colinas suaves y coronado por las ruinas de antiguas atalayas. Estas torres presenciaron las juergas de un estudiante llamado Bismarck (futuro canciller de Alemania), la expulsión de otro estudiante llamado Heine (famoso poeta alemán), los paseos de dos hermanos apellidados Grimm, que discutían acerca de bellas durmientes o flautistas que habitaban en la cercana ciudad de Hamelin. Era una ciudad impregnada de vida universitaria, con infinidad de calles y tiendas donde se vendían postales con retratos de los profesores de la universidad. ¿Se imaginan nuestras caras como *merchandising* de la Universidad de Málaga?

Por primera vez, y durante seis meses, recibió clases tan sólo de matemáticas. Y tuvo como profesores a los insignes Felix Klein (que murió en Gotinga), David

Hilbert (que murió en Gotinga), Karl Schwarzschild (físico y astrónomo, que propuso en una conferencia que la geometría del universo pudiera ser curva en lugar de plana, y que murió en Postdam), Herman Minkowski (que murió en Gotinga) y Otto Blumenthal (que moriría en 1944 en Terezín en un campo de concentración, en la República Checa).

A partir de su primera experiencia en Gotinga, Emmy Noether sabe que ha encontrado su lugar y su tarea.

La ciudad de Gotinga también es muy conocida porque allí se publica una de las revistas más prestigiosas de matemáticas: *Mathematische Annalen*, en el primer 10% del Journal Citation Report (en el de 2013 estaba la 25 de 299, ordenadas por índice de impacto; la revista fue fundada en 1868 por Alfred Clebsch y Carl Neumann y fue continuada por Felix Klein, David Hilbert, Otto Blumenthal, Erich Hecke, Heinrich Behnke, Hans Grauert, Heinz Bauer, Herbert Amann, Jean-Pierre Bourguignon, Wolfgang Lück y Nigel Hitchin).

Pese a la situación tan poco favorecedora para el desarrollo de la carrera universitaria de una mujer, en cierto modo, Emmy Noether tuvo suerte ya que el área de ciencias de la Facultad de Filosofía (allí era donde se insertaba Matemáticas) de Gotinga era el lugar donde menos influían dos de los rasgos con los que Noether nacería: ser mujer y tener origen judío. Afortunadamente ni Klein ni Hilbert prestaban atención al hecho de ser o no judía/o. Y aunque esto fuera bueno para la matemática, no lo fue tanto para ellos ya que, con posterioridad, durante el nazismo, se les llegaría a acusar de haberse constituido en el bastión de una conspiración judía que pretendía corromper las matemáticas alemanas. Para más inri, Klein favoreció la entrada de las mujeres en la universidad de manera activa: él mismo dirigiría la tesis doctoral de la británica Grace Chisholm Young que se fue a Gotinga porque en su país no se le permitía cursar estudios en la universidad. Grace Chisholm Young leería la tesis en 1895 (se licenció en 1892 y se marchó a Alemania; se considera que es la primera mujer que consigue doctorarse en Matemáticas de una manera “normal”). El lograr que pudiera hacerlo parece que no fue tarea fácil. El *kurator*, que era el representante del ministro en cada universidad y tenía como misión velar por el cumplimiento de sus políticas, incluso se encaró con Klein y llegó a decirle que respaldaba una postura “peor que la socialdemócrata, que sólo busca la abolición de las diferencias en lo que se refiere a la propiedad. ¡Usted quiere abolir la diferencia entre sexos!”. Finalmente se logró el hito y el 26 de abril de 1895 Klein logró que por primera vez en Prusia una mujer se presentara y aprobara el examen oral previo a la concesión del doctorado.

Hacemos aquí un inciso para relatar el contenido de una carta que escribiera el marido de Grace Chisholm:

Lo cierto es que ambos deberíamos firmar nuestros artículos [realizaron 220] pero si así fuera ninguno de los dos se vería beneficiado. No. Para mí los laureles ahora, y el conocimiento. Para ti, sólo el conocimiento. En la actualidad no puedes desarrollar una carrera pública. Yo puedo, y lo hago.

Es indudable que la mentalidad de quienes hoy leemos estas palabras no es la de la época de quien la escribió. Aún así, resultan duras como mínimo.

Emmy Noether leería su tesis el 13 de diciembre de 1907, doce años más tarde que Chisholm. Según consta en “The Mathematics Genealogy Project”, dirigió a 14 estudiantes (es posible que fueran más ya que en [EN] aparecen 16) y tiene 1.119 descendientes, es decir, doctorandas y doctorandos de las doctorandas y doctorandos de... de sus doctorandos.

Entre los más conocidos: Levitzki, Weber, Fitting, Schwarz y Witt.

Estábamos en el segundo semestre de 1903/1904, con Noether recibiendo clases únicamente de matemáticas y disfrutando de ello. Sólo seis meses estuvo allí. Volvió a casa ya que se permitió la matriculación y el derecho a examen a las mujeres que quisieran estudiar en cualquiera de las tres universidades de Babiera (Erlangen, Munich y Würzburg).

El 24 de octubre de 1904 se convirtió en la primera y única mujer matriculada en la Facultad de Filosofía de la Universidad de Erlangen. Tres años después, el 13 de diciembre de 1907, pasaba el examen oral en el que defendía su tesis. Era la segunda matemática alemana que se doctoraba en su país de nacimiento.

Tres años después de la lectura de su tesis aún continuaban trabajando en el tema de invariantes.

Si bien el primer paso de la integración de la mujer se había completado, es decir, se permitía que las mujeres se matricularan en la universidad y pudieran examinarse para alcanzar el título de doctoras, el segundo paso para dicha integración aún tardaría en llegar. Incorporar a las mujeres en el cuerpo docente de una universidad era demasiado pedir. Durante décadas, Emmy Noether no pudo avanzar en la estabilización de su puesto laboral, muy al contrario de lo que ocurría con los matemáticos de su generación, incluso de generaciones posteriores, cuya carrera iba en ascenso.

Noether comenzó a trabajar en el Instituto Matemático de Erlangen, aunque no tenía un puesto oficial ni cobraba salario alguno. Cada vez iba adquiriendo más compromisos de su padre. Emmy le sustituía cuando estaba de baja, daba sus clases, e incluso dirigía las tesis doctorales de algunos de sus alumnos.

En 1908 Emmy Noether ingresa en el Círculo Matemático de Palermo, lo que significa su entrada en la esfera internacional. En 1909 pasa a formar parte de la

influyente Asociación Alemana de Matemáticos (la DMV, Deutsche Mathematiker Vereinigung). Este mismo año dará su primera conferencia en Salzburgo ante los miembros de dicha asociación.

En 1910 Gordan anuncia su retiro y un año más tarde Ernst Fischer ocupa su puesto. Será entonces cuando Noether descubrirá su propio camino, como ella misma dice.

En esa época hay grandes tensiones en Europa. Será a finales de junio de 1914 que un serbio disparará contra el heredero al trono del imperio austrohúngaro. El 28 de julio Austria declara la Guerra a Serbia y el cuatro de agosto Gran Bretaña declara la guerra a Alemania. Esto da lugar a que 6 millones de europeas y europeos, entre quienes se encuentra Fisher, el colega de Noether, deban abandonar sus tareas cotidianas e ir a la guerra.

Entre otros efectos devastadores que tuvo la guerra, las universidades comenzaron a quedar vacías de profesores y de estudiantes. En particular, Weyl, Courant y Schwarzschild irán a la guerra, lo que produce que la sección de matemáticas de Gotinga quede en un estado precario.

Gracias a esto, en la primavera de 1915 Noether recibe una invitación de los dos grandes popes de las matemáticas alemanas: Hilbert y Klein para que regrese a la universidad. Su objetivo es tratar de cubrir las bajas que se han producido.

Gotinga (1915-1920) y la teoría de la relatividad.

Hay autores que clasifican en cuatro etapas la vida de Noether: la primera es la etapa de Erlangen, con incursiones en Gotinga. La segunda es la de Gotinga, entre 1915 y 1920, etapa en la que trabaja con Klein y Hilbert en la relatividad general. La tercera sigue siendo en Gotinga, y va desde 1920 hasta 1933, año en el que tiene que abandonar Alemania tras la llegada al poder de Hitler, y la última son los dos años, de 1933 hasta 1935, que pasa en Bryn Mawr, Pensilvania, Estados Unidos.

Voy a tratar de explicar lo más breve y sucintamente posible algunas nociones para comprender grosso modo en qué consiste la teoría de la relatividad.

La llamada teoría de la relatividad especial fue publicada por Einstein en 1905.

Hasta entonces, la Física consideraba que todo experimento que se hiciera en un sistema de referencia inercial (aquel en el que se cumplen las tres leyes del movimiento de Newton¹) era exactamente igual que otro que se hiciera en un sistema de referencia inercial diferente.

Esto en realidad no es cierto, como vamos a ver a continuación y como se comprobó de manera experimental.

El experimento consiste en lo siguiente: supongamos que hay un vehículo en movimiento y que desde dentro se lanza un rayo de luz que rebota en el techo y vuelve. Suponemos que la distancia al techo es L. Vamos a tener en cuenta la fórmula del movimiento continuo: que el espacio es la velocidad por el tiempo, o, equivalentemente, que la velocidad es el espacio partido el tiempo:

$$v=e/t,$$

donde v es la velocidad de la luz.

El punto rojo será, por tanto, la luz, y habrá un observador. En primer lugar, supongamos que el observador está dentro del vagón. En este caso, cuando se lanza el rayo de luz, rebota y vuelve, lo que el observador ve es el rayo que sube

¹ Las tres leyes de Newton son las siguientes. Primera (Ley de la inercia): todo cuerpo continúa en su estado, de reposo o de movimiento rectilíneo, a menos que actúe una fuerza sobre él. Segunda (Ley de fuerza): todo cambio de movimiento es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre él y se produce en la misma dirección y sentido que la fuerza que lo provoca. Tercera (Principio de acción y reacción): toda acción conlleva una reacción igual pero en sentido contrario.

en línea recta, rebota y baja en línea recta. Así que el espacio recorrido es $L + L = 2L$, y el tiempo invertido es t . La fórmula nos queda:

$$v=2L/t.$$

Ahora, supongamos que el observador está fuera del vehículo que viaja. Se lanza el rayo de luz, el observador ve que llega al techo y luego ve que vuelve. Cuando ha vuelto, en línea recta ha recorrido una distancia, un espacio, que es la velocidad, v , por el tiempo, llamémosle t' . Si esquematizamos el recorrido que ha hecho la luz, visto desde fuera, tenemos este triángulo isósceles donde la base es la distancia que hemos calculado anteriormente, vt' , y la altura es L . La distancia que ahora recorre la luz es: el primer lado del triángulo (a la ida) más el segundo lado del triángulo (a la vuelta). Por el Teorema de Pitágoras, el cuadrado del lado vale $L^2+v^2t'^2/4$ y, por tanto, la velocidad es:

Si igualamos las dos velocidades, que son la de la luz y que, empíricamente, se prueba que es constante, resulta que:

$$\frac{2\sqrt{L^2+v^2t'^2/4}}{t'} = \frac{2L}{t}$$

Si simplificamos el dos que aparece en ambas igualdades nos queda:

$$\frac{\sqrt{L^2+v^2t'^2/4}}{t'} = \frac{L}{t}$$

Ahora, comparemos los dos numeradores. Pensemos, por ejemplo, que $L=2$. El numerador de la izquierda será la raíz cuadrada de cuatro y algo más. Es decir, será mayor que dos. Así, el numerador de la izquierda es mayor que el de la derecha, y para que se tenga la igualdad entre las dos fracciones, necesariamente el denominador de la izquierda ha de ser mayor al de la derecha:

$$t' > t.$$

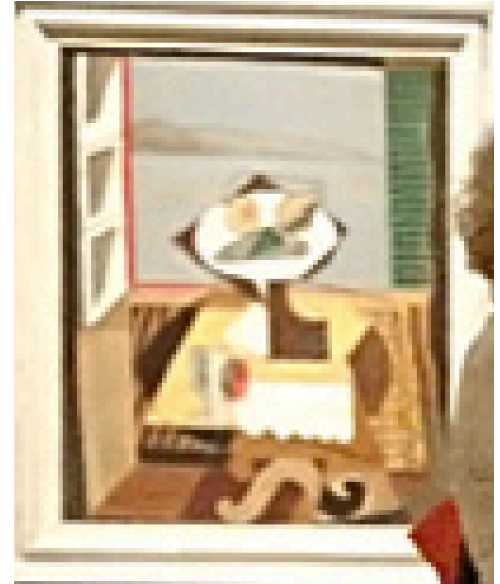
Dicho de otra manera, el tiempo en el segundo caso es mayor que en el primero.

Esto da respuesta también a la conocida como paradoja de los gemelos: un hermano gemelo viaja a la luna a la velocidad de la luz y cuando vuelve ha envejecido menos que su hermano. La razón es que el tiempo es menor para el hermano que va dentro del sistema, como hemos demostrado anteriormente.

Esta teoría tuvo mucha repercusión e influencia social, en particular ejerció influencia en el arte contemporáneo. De aquí los relojes blandos y deformados de Dalí, indicando la deformación del tiempo, o pinturas como las de Picasso de su época cubista.

En el cuadro que ven en la imagen, Bodegón (1925), de Joaquín Peinado, de clara inspiración cubista, puede verse que hay dos sistemas de referencia claramente diferentes: la parte superior del cuadro, que es una ventana pintada al estilo clásico, con su perspectiva clásica y la inferior, que es cubista puramente².

Este cuadro pertenece al Museo Picasso Málaga y es parte de las 30 obras de los fondos del museo que en estos momentos puede visitarse en la exposición temporal de nombre “Movimientos y secuencias”.



La teoría de la relatividad especial, que es como se llama esta, lo que hace es comparar el paso de un sistema de referencia a otro. Expresado matemáticamente, lo que estudia es el paso de las coordenadas (x, y, z, t) en el primer sistema de referencia a las coordenadas (x', y', z', t') en el segundo sistema de referencia, sabiendo que la velocidad de la luz permanece constante y es la que liga unas coordenadas con otras, como hemos analizado anteriormente.

El salto de la relatividad especial a la general, desde un punto de vista matemático y, por tanto, también físico, supuso el mismo salto que el pasar de considerar que la tierra es plana a descubrir que es esférica. La percepción del carácter plano se tiene por cercanía. Hay que alejarse para descubrir que es curva.

Esto es lo que ocurrió con la teoría de la relatividad especial, que cuando se pasa a una escala macro, es decir, cuando se sale de un entorno de la superficie terrestre, cuando se piensa en el contexto de los planetas, en el que se incluye la gravitación universal, la relatividad especial no funciona. Y esto es lo que tuvo a Einstein y a un grupo de matemáticos encabezados por Klein y Hilbert, pensando durante algunos años.

² La imagen ha sido extraída de las fotografías que aparecen en la página web del Museo Picasso Málaga, concretamente en:

<http://www.museopicassomalaga.org/es/movimientos-y-secuencias-coleccion>

La relatividad especial se estableció en 1905 y la general vio la luz diez años después, precisamente hace 100 años. Y aquí es donde aparece la figura de Noether.

Al primero al que sorprendió la necesidad de una maquinaria matemática potente para resolver el problema presentado por la teoría de la relatividad especial (que no es válida cuando se piensa en sistemas tan grandes como son los planetarios), fue a Einstein.

Una vez resuelta la teoría de la relatividad especial, el matemático Minkowski dio una explicación geométrica de la misma: el paso de un sistema de referencia a otro se producía mediante aplicaciones, es decir, matrices de tamaño cuatro por cuatro que satisfacían ciertas condiciones. En particular, el conjunto de dichas aplicaciones tenía estructura de grupo (el llamado Grupo de Minkowski). A Einstein no le gustó esta explicación. Decía que las matemáticas oscurecían más que aclaraban. Sin embargo, hacia 1912 había cambiado de opinión.

Explicar con un lenguaje asequible lo que significa la teoría de la relatividad general es más difícil. En palabras del físico John Wheeler, esencialmente lo que esta nueva teoría de la relatividad dice es que “el espacio le dice a la materia cómo debe moverse y la materia le dice al espacio cómo debe curvarse”.

El interés de Klein y Hilbert en la relatividad data de 1907. Paseaban por los bosques de Gotinga con Minkowski mientras discutían acerca de ella. La idea de Minkowski era que el espacio y el tiempo no debían ser tratados de manera independiente, sino que una cierta relación entre ellos es la que había de resultar central. Es lo que se llamó posteriormente el espacio-tiempo.

Así pues, en Gotinga, matemáticos y físicos discutían acerca de la relatividad. Los matemáticos, según cuenta Walter Lietzmann, estudiante de Hilbert, se sentían incómodos ante las explicaciones en conferencias de los físicos teóricos ya que a estos les importaba poco presentar principios y leyes diferentes que no estaban integrados en un cuerpo teórico bien organizado, lo que no gustaba a los matemáticos.

Por su parte, Einstein comentaría que, a veces, tenía la sensación de que los matemáticos de Gotinga estaban más interesados en mostrar a los físicos cuánto más brillantes que ellos eran, que en ayudar a formular las cosas con claridad.

La barrera infranqueable que parecía existir entre físicos y matemáticos fue debilitándose al comprender ambos que estaban interesados en un problema de grandes dimensiones, un problema común, que cada uno de ellos trataba de manera diferente. Así pues, Hilbert se sometió a un curso intensivo de Física y Einstein perdió su prevención hacia las matemáticas.

En el verano de 1915 Einstein viajó a Gotinga para dar una serie de seis conferencias en las que explicaba el estado en el que estaba la teoría general de la relatividad.

Aunque Noether llegó a Gotinga en abril de 1915, lo más probable parece que es que no asistiera a las conferencias de Einstein ya que dos semanas después de su llegada tuvo noticias del fallecimiento inesperado de su madre y volvió a Erlangen a hacerse cargo de su padre, como correspondía, dada su cualidad de mujer. No se sabe si viajó a Gotinga después. Lo que sí se sabe es que pasó el verano con su padre tratando de restablecer el orden familiar, que para eso era la hija y la educación de la época así lo exigía.

Su padre le dio las bendiciones para que se volviera a Gotinga a continuar con su carrera matemática. Y pudo hacerlo gracias a la desahogada situación familiar. Nuevamente destacamos la importancia del entorno en el que se nace para poder desarrollar las propias capacidades.

La situación de Noether en la universidad de Gotinga no era buena, pero podía permitirse estar allí sin apenas cobrar salario.

Volviendo al tema de la relatividad, en 1915 Hilbert, por un lado, y Einstein por otro, trabajaban para encajar la gravitación en la teoría de la relatividad especial. Para Einstein el mes de noviembre de 1915 fue uno de los momentos más difíciles y excitantes en su vida, llegaría a decir. Pasaba las noches en vela y apenas comía, y lo que comía, parece que no le sentaba bien. Mientras, Noether pasó a formar parte del equipo de Hilbert, que desarrollaba una actividad frenética en aras de alcanzar el objetivo común.

Para que quede claro el importante papel desempeñado por Noether, y no se piense que la inspiración le llegó de la noche a la mañana, hay que retroceder tres años, a 1912, que fue cuando parece que Einstein se dio cuenta de que la teoría de superficies de Gauss contenía la clave del misterio que resolvería la manera de introducir la interacción gravitatoria en la teoría de la relatividad.

Cuando Noether llegó a Gotinga en 1915 era una experta reconocida en invariantes y había hecho el cambio en la manera de abordarlos: había dejado la aproximación de Gordan y había tomado la de Hilbert.

El 25 de noviembre de 1915 Einstein presentaba su versión de las ecuaciones de campo ante la Academia de Berlín. Cinco días antes Hilbert había hecho lo propio en la Academia de Ciencias de Gotinga. Parece que la carrera quedaba en empate técnico. Sin embargo, ambos estaban equivocados, sus demostraciones contenían errores.

Y apareció en escena Klein, que se inspiró en viejas ideas de su programa Erlangen. Por su parte, Noether entró como actriz principal en lugar de

limitarse a secundaria, y presentó su teorema (dos en realidad) que no sólo explicaba la relatividad general sino también algunos otros resultados.

Esencialmente lo que decía el resultado de Noether es que los principios de conservación de la energía no son sino manifestaciones de simetrías. Sus resultados explican por qué existen leyes de conservación y magnitudes físicas que no cambian a lo largo de la evolución en el tiempo de un sistema físico.

Cuando Einstein conoció el Teorema de Noether, demostrado en 1915, escribió a Hilbert:

“Estoy impresionado de que alguien pueda comprender estos asuntos desde un punto de vista tan general. No le haría ningún daño a la vieja guardia de Gotinga si aprendiese de ella un par de cosas”.

No fue mucho lo que la Universidad hizo por tratar de habilitar a Noether para que su situación laboral fuera estable, aunque no entraremos en detalles.

Sí diremos que con 35 años había logrado el reconocimiento de los científicos más importantes de su tiempo y había creado uno de los resultados más profundos de la física matemática, pero seguía siendo invisible para la administración y su carrera seguía estando financiada con fondos familiares. Se puede decir que trabajaba por amor al arte.

El tercer período, en Gotinga, de 1920 a 1933.

Es aquí cuando escribe su famoso artículo "Ideal theory in rings" (teoría de ideales para anillos). Noether es considerada la madre del álgebra debido a contribuciones como la de este trabajo.

En ocasiones, cuando nos centramos en problemas concretos, tenemos más dificultades que si vemos esos problemas desde una perspectiva común. A veces abstraer, hablar un lenguaje común para unificar varias líneas, produce un mayor entendimiento, una mayor claridad y se consigue que dicha teoría unificadora permita una mayor comprensión que las, quizás, enrevesadas teorías más concretas. Este fue uno de los logros de Noether: trabajó en álgebra abstracta desde un punto de vista aritmético. En el currículo que ella enviara en 1919 a Gotinga, con motivo de su habilitación, decía que debía a E. Fischer el impulso de estudiarla. Fischer fue a Erlangen en 1911 a ocupar el puesto de Gordan cuando se retiró. Dirige a 10 alumnos de tesis en este período.

En los dos años que estuvo en Estados Unidos, tres alumnos leyeron la tesis doctoral bajo su dirección y uno más la leyó al año siguiente de su muerte. Los dos últimos alumnos la defendieron en Gotinga. En 1934 leyó en Marburgo (Alemania) la tesis un alumno y en 1935 una alumna de Bryn Mawr. Estos datos dan muestra de su gran actividad.

Un par de curiosidades.

Hay un cráter Noether en la cara oculta de la luna al que se le ha puesto Noether en su honor.

También hay un asteroide que lleva su nombre: el asteroide 7001 Noether.

Sobre su carácter.

De él hablaron sus alumnos y sus compañeros. Pueden leerse las palabras de su colega en la universidad de Gotinga Herman Weyl, famoso matemático, en el funeral de Noether en Bryn Mawr, Pensilvania, donde murió. Aunque dice de ella que no era muy agraciada físicamente, esboza una imagen tierna de su amiga y colega.

Ya hubo anteriormente quien hiciera una “descripción taxonómica” que la clasifica de rara avis. Es denominada como mujer sabia, pero, desde luego, su imagen no es de una mujer de la burguesía.

Cierre.

Lo dejo en esta etapa de su vida para tratar de despertar la curiosidad por saber qué ocurrió después. Si bien, decir, que se trasladó a Estados Unidos, a trabajar en una universidad para mujeres, en Pensilvania, Bryn Mawr College, se fue en 1933. Murió dos años después, a la edad de 53 años (el 14 de abril de 1935), a causa de complicaciones surgidas tras la operación de un tumor de ovarios que, aparentemente, no había tenido dificultades. En esos dos años se rodeó de numerosos estudiantes y colegas con los que siguió avanzando en el desarrollo de las Matemáticas.

Quiero expresar aquí mi sorpresa porque, a pesar del gran trabajo matemático realizado por Noether, por Hilbert y su equipo de matemáticos, cuando se habla de la teoría de la relatividad, es raro que se les mencione. Sin ir más lejos, he leído algunos de los artículos aparecidos con motivo del centenario del establecimiento de la teoría de la relatividad en periódicos como el New York Times, El País, ABC (véanse las referencias) y en ninguno de ellos se habla del papel de las matemáticas. Parece que la humanidad necesita de mitos a los que cada vez hace más grandes, alimentándolos de las glorias de otros.

Quiero terminar mencionando que en la nota enviada por Einstein al New York Times pocos días después de la muerte de Emmy Noether, decía:

Bajo el esfuerzo directamente dirigido a la acumulación de bienes materiales, subyace con demasiada frecuencia la ilusión [en el ser humano] de que éste es el fin más importante y deseable a alcanzar; pero hay, afortunadamente, una minoría compuesta por quienes reconocen temprano en sus vidas que las experiencias más hermosas y satisfactorias no proceden del exterior, sino que están estrechamente ligadas al desarrollo del propio sentimiento, pensamiento y acto individuales. Los genuinos artistas, investigadores y pensadores han sido siempre personas de este tipo.

Si bien, dado el estilo del texto completo, considerado como poético, surgen dudas acerca de la autoría del mismo que, parecen no ser reales³, esto no

³ Es conocido que de Einstein se dice que no siempre fue propio lo que apareció con su firma. Un ejemplo de esta opinión aparece en [PR, pg.27], en relación con el texto enviado al New York Times del que hablamos aquí. Dice Roquette: "But because of this character of style it has been doubted whether the text really was composed by Einstein himself. If not the this would not have been the first and not the last incident where Einstein had put his name under a text which was not conceived by himself". Ello no quita que considere que Einstein suscribía estas palabras. Tras leer el texto de Einstein, lo que ocurrió antes de leer [PR], he de reconocer que su estilo me

impide para que el contenido de las mismas suponga un hermoso y elogioso panegírico.

También lo dejó aquí por el tiempo, que ya no me queda. Espero que se les haya pasado rápido, que no les haya supuesto una hora, sino menos, señal de que la teoría de la relatividad funciona.

Gracias por su atención.

sorprendió. Pero lo que más me llamó la atención fueron dos cosas: la primera que dijera de Noether que “fue el más significativo genio matemático creativo producido desde que comenzara la educación superior de la mujer”. ¿Por qué no decir de ella que tuvo un gran genio creativo, sin localizarlo en la aceptación de la mujer en la universidad? Lo segundo que me llamó la atención es que, a pesar de que habla de logros matemáticos de Noether, en concreto en el “reino del álgebra”, no dedique ni una sola palabra a sus aportaciones en el campo de la Física, en concreto en el de la teoría de la relatividad general. Sí tiene palabras para clasificarla en el ámbito de las matemáticas puras y dice que éstas son “la poesía de las ideas lógicas”.

Bibliografía

[ABC] Cuatro imágenes de la explosión de una estrella respaldan a Einstein. Diario ABC, 5 de marzo de 2015.

<http://www.abc.es/ciencia/20150305/abci-cuatro-imagenes-explosion-estrella-201503051434.html>

Activa el 8 de marzo de 2015.

[B] Philip Ball. General Relativity's Big Year? New York Times, 4 de febrero de 2015.

http://www.nytimes.com/2015/02/05/opinion/general-relativitys-big-year.html?_r=0

Activa el 8 de marzo de 2015.

[BC] José Botella Llusía, José A. Clavero Núñez. *Tratado de ginecología* (14ª edición). Ediciones Díaz de Santos (1993).

[B] David Blanco Laserna. *Emmy Noether. Una matemática ideal*. Editorial Nívola (2011).

[BMC] Bryn Mawr College

<https://www.brynmawr.edu/>

Activa el 8 de marzo de 2015.

[C] Pilar Carrasco, *Emmy Noether y el inicio del Álgebra Abstracta*. La Gaceta de la RSME, Vol. 7.2 (2004), pgs. 331-346.

[F] Erich Fromm. *El arte de amar*. Ediciones Paidós Ibérica (1959).

[MA] Mathematische Annalen.

<http://www.springer.com/mathematics/journal/208>

Activa el 8 de marzo de 2015.

[MA-PG] Mathematics Genealogy Project. Tesis doctorales dirigidas por Paul Albert Gordan.

<http://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/id.php?id=15654>

Activa el 8 de marzo de 2015.

[MA-EN] Mathematics Genealogy Project. Tesis doctorales dirigidas por Emmy Amalie Noether.

<http://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/id.php?id=6967>

Activa el 8 de marzo de 2015.

[S] Mercedes Siles Molina, *Emmy Noether: el eslabón olvidado en la Teoría de la relatividad*. Boletín de la Titulación de Matemáticas de la Universidad de Almería. Vol. VII. Nº 2, 30 de enero de 2014. Pgs. 10-11.

[Sam] Javier Sampedro, *La belleza cumple un siglo*. Diario El País. 8 de marzo de 2015.

http://elpais.com/elpais/2015/03/06/ciencia/1425663522_377108.html

Activa el 8 de marzo de 2015.

[PR] Peter Roquette, *Emmy Noether and Hermann Weyl*. Manuscrito extendido de una conferencia impartida en el congreso en honor a Hermann Weyl en Bielefeld, el 10 de septiembre de 2006.

<http://www.rzuser.uni-heidelberg.de/~ci3/weyl+noether.pdf>

Activa el 8 de marzo de 2015.

[GCH] Sobre Grace Chisholm Young

http://es.wikipedia.org/wiki/Grace_Chisholm_Young_%28Matem%C3%A1tica%29

Activa el 8 de marzo de 2015.

[EN] Biografía de Emmy Noether en la University of St Andrews

http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Mathematicians/Noether_Emma.html

Activa el 8 de marzo de 2015.

Índice

La capacidad de las mujeres	3
Erlangen (hasta 1915)	6
Gotinga (1915-1920) y la teoría de la relatividad	12
El tercer período, en Gotinga, de 1920 a 1933	18
Un par de curiosidades	19
Sobre su carácter	19
Cierre	20
Bibliografía	22