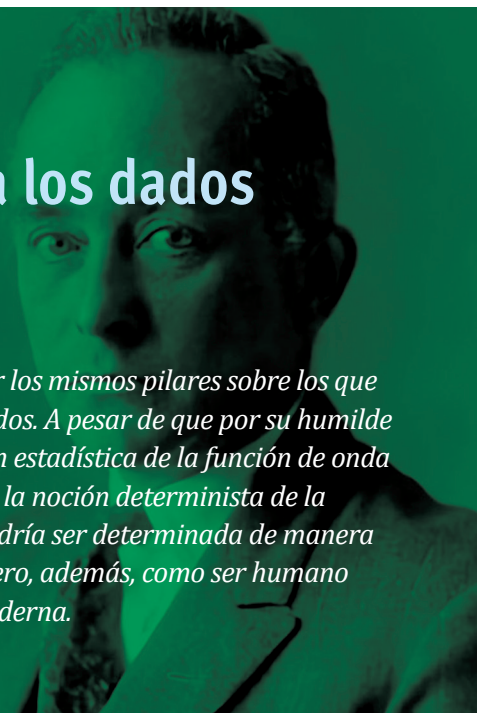


## Max Born, el hombre que hizo a Dios jugar a los dados

por Sergio Barbero\*

*Pocas veces un científico es capaz de descubrir algo que haga temblar los mismos pilares sobre los que se asienta la física. Max Born (1882-1970) fue uno de estos privilegiados. A pesar de que por su humilde carácter él mismo no lo considerase como tal, su audaz interpretación estadística de la función de onda de Schrödinger siempre será recordada como la estocada definitiva a la noción determinista de la física clásica. La posición espacio-temporal de una partícula ya no podría ser determinada de manera exacta y unívoca. Born hizo muchas otras contribuciones a la física pero, además, como ser humano comprometido que fue, ejemplifica el despertar ético en la ciencia moderna.*



### Cuando el sol salió dos veces

El 16 de julio de 1945 —exactamente a las 5 horas, 29 minutos y 45 segundos— se detonó, en el desierto Jornada del Muerto, la primera bomba nuclear de la historia. Los inquietos testigos, situados a 10 millas de distancia del lugar de la detonación, percibieron un intenso fulgor y experimentaron una agradable sensación de calor. Uno de los presentes, Phillip Morrison, recuerda que diez minutos después de la detonación amaneció; impresionado por la experiencia afirmó, con expresión poética, que aquel día vieron dos amaneceres.

El llamado Trinity Test fue la culminación del mayor proyecto científico-tecnológico de la historia: el proyecto nuclear norteamericano, liderado, en su parte científica, por Robert Oppenheimer (1904-1967) y en el que trabajaron hasta ciento treinta mil personas, entre las que se encontraban varios de los amigos y discípulos de Max Born, incluido el propio Oppenheimer. Apenas unas semanas después, el 6 de agosto de 1945, caía la primera bomba atómica sobre Hiroshima, matando entre setenta mil y ciento veinte mil personas, y, sólo dos días después, la bomba de plutonio Fat Man era

arrojada sobre la ciudad portuaria de Nagasaki, falleciendo, esta vez, setenta mil personas (aunque la radiación continuaría provocando muertes durante muchos años más). Las noticias de Hiroshima y Nagasaki causaron un duro impacto emocional sobre Born; en una carta del 20 de agosto escribía a su hijo Gustav<sup>1</sup>:

Si el hombre está hecho de tal manera que su curiosidad le conduce a la auto-destrucción no hay esperanza para él. Sin embargo yo no estoy convencido de ello, ya que además de su cerebro tiene su corazón. El amor es un poder tan fuerte como el átomo.

Cuarenta años antes, Max Born, como tantos otros, estaba firmemente convencido de que la humanidad, sustentada por los pilares de la ciencia newtoniana y maxwelliana, siempre progresa a mejor. En el transcurso de aquellos ocho lustros, el periodo de vida más activo de Born, se derrumbaron las certezas de la física clásica y se diluyó el sueño kantiano de una paz europea perpetua. Conocer la vida de Born es adentrarse en aquellas cuatro

décadas excepcionales que transformaron a la física y a la propia humanidad.

### Un chico tímido de Breslavia

Max Born nació en el invierno de 1882 a orillas del río Óder, en la bella ciudad polaca de Wroclaw —en aquella época la alemana Breslavia—. Su padre, Gustav, era profesor de embriología en el Instituto de Anatomía de la Universidad de Breslavia y su madre, Margarete, pertenecía a una acomodada familia de la industria textil. Born perdió a su madre con sólo cuatro años, con lo que su educación quedó en manos de una institutriz; quizá, por esa carencia afectiva, desarrollaría un cierto carácter retraído. De manera un tanto severa el propio Born calificaría su niñez como un tiempo en el que se convirtió “en cierto modo en un tipo raro”<sup>2</sup>.

Born recibió una educación liberal e integral, usual en los Gymnasium alemanes de la época; así aprendió tanto cultura clásica grecolatina y musical (muy pronto empezó a tocar el piano) como ciencias naturales, éstas últimas especialmente promovidas por su padre. Gustav fue determinante en la

<sup>1</sup> N. T. Greenspan, *The end of the certain world. The life and science of Max Born* (Basic Books, Nueva York, 2005, p. 57).

<sup>2</sup> M. Born, *My life: Recollections of a Nobel Laureate* (Charles Scribner's Sons, Nueva York, 1978, p. 9).

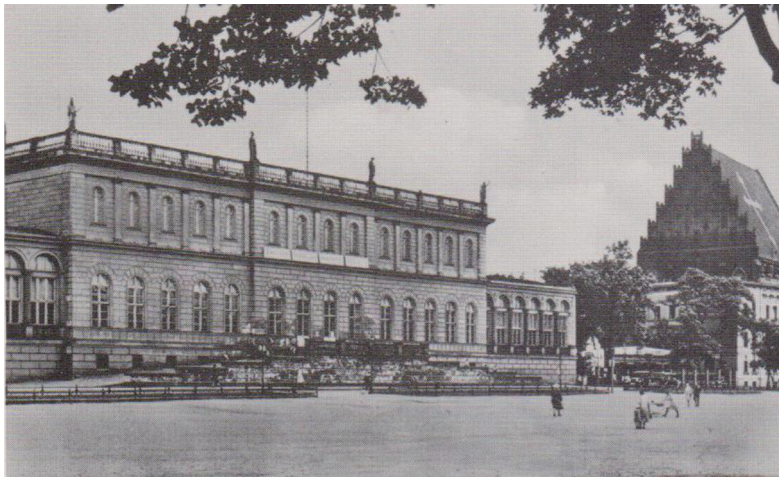
\* Instituto de Óptica (CSIC)

formación de la personalidad de Born, de ahí que su muerte (por una angina de pecho), siendo Max aún adolescente, supusiese una segunda fatalidad en su vida.

Born comenzó sus estudios universitarios inscribiéndose en cursos muy variados, ya que mantenía su interés por una formación lo más amplia posible; como él mismo recordaría<sup>3</sup>:

Nunca quise convertirme en un especialista, es más, siempre fui un diletante, incluso en aquellos campos que se me pueden atribuir como propios. [...] Siempre me interesó más el trasfondo filosófico de la ciencia que sus resultados concretos.

Conviene, sin embargo, resaltar el cálculo matricial que aprendió de su profesor de matemáticas (Jacob Rosanes [1842-1922]), ya que resultaría crucial, tiempo después, para sus aportaciones al



**Fig. 1.** Lugar de nacimiento de Max Born (casa de la derecha). Al lado del Palacio Real en Breslavia. Foto reproducida en: M. Born, *My life: Recollections of a Nobel Laureate* (Charles Scribner's Sons, New York, 1978),

desarrollo de la mecánica cuántica. Durante estos años universitarios conocería a James Franck (1882-1964), quien se convertiría en uno de sus mejores amigos y uno de sus más estrechos colaboradores. Franck, excelente experimentalista, sería galardonado en 1925 con el Premio Nobel de Física: “por su descubrimiento de las leyes que gobiernan el impacto de un electrón en un átomo”; aspecto abordado por Born desde el punto de vista teórico.

### Tortuosos inicios en la investigación

Born, aconsejado por su influyente amigo Otto Toeplitz (1881-1940), decidió iniciar a partir de 1904 estudios de matemáticas en Gotinga. Allí tendría como profesores y maestros a dos de los más ilustres matemáticos de la época: David Hilbert (1862-1943) y Hermann Minkowski (1864-1909). Born se ganó la confianza y aprecio de Hilbert, gracias a lo cual se convirtió en su

ayudante personal. De Hilbert aprendió mucho; no obstante, obnubilado por su altura intelectual, y quizá condicionado por un desmedido sentimiento de exigencia personal, Born llegó a la conclusión de que no estaba capacitado para las profundas investigaciones que exigía la matemática pura, con lo que renunció a ella como su vocación científica. Poco a poco, Born fue re-dirigiendo sus intereses hacia la física, aunque su periodo de Gotinga haría que siempre mantuviese un sesgo matemático acusado —aspecto éste que algún discípulo suyo, como Pauli, le echarían en cara—.

Tras graduarse, Born tuvo que realizar el servicio militar obligatorio, experiencia que le resultaría profundamente ingrata hasta el extremo de que forjaría su postura antimilitarista para el resto de su vida<sup>4</sup>.

Tras finalizar el servicio militar (en enero de 1907) y después de una breve estancia de seis meses en Cambridge —lo cual le permitiría mejorar su parco inglés— se incorporó a trabajar en el laboratorio de Otto Richard Lummer (1860-1925), en el departamento de física de la Universidad de Breslavia. Allí, Born descubriría que no estaba muy dotado para la física experimental. Lummer le encargó realizar ciertos experimentos que precisaban utilizar un sistema de refrigeración. Lamentablemente, cierta noche, uno de los tubos de refrigeración se desprendió y durante horas el agua inundó el laboratorio. Aunque el estropicio no fue especialmente crítico, el enfado de Lummer fue monumental, llegando al extremo de plantearse seriamente despedirle mientras le increpaba: “Nunca serás un físico”<sup>5</sup>. Tal episodio hizo mella en el carácter susceptible de Born, percatándose de que su camino discurría más por la física teórica que por la experimental.

A pesar de sus sinsabores con Lummer, fue de él de quien, por primera vez, oyó hablar sobre los cuantos de Max Planck (1858-1947). Poco tiempo después, Born estudiaba los revolucionarios artículos de Albert Einstein (1879-1955) sobre el efecto fotoeléctrico y la teoría de la relatividad especial. Born quedó irremediablemente fascinado por la nueva física. Fue de los pocos físicos que recibieron con entusiasmo y premura las ideas relativistas de Einstein; ideas que también atraieron la atención de su viejo maestro: Minkowski. El maestro propuso al antiguo discípulo aunar esfuerzos, con lo que Born volvió a Gotinga en diciembre de 1908. Aunque desgraciadamente la fatalidad volvió a la vida de Born: a las pocas semanas de llegar allí, Minkowski moría en una operación fallida de apendicitis.

<sup>4</sup> S. Barbero, *Max Born* (Fundación Emmanuel Mounier, Madrid, 2015, p. 26).

<sup>5</sup> N. T. Greenspan, *The end of the certain world. The life and science of Max Born* (Basic Books, Nueva York, 2005, p. 41).

<sup>3</sup> Max y Hedwig Born, *Ciencia y conciencia en la era atómica* (Alianza Editorial, Madrid, 1971, p. 35).

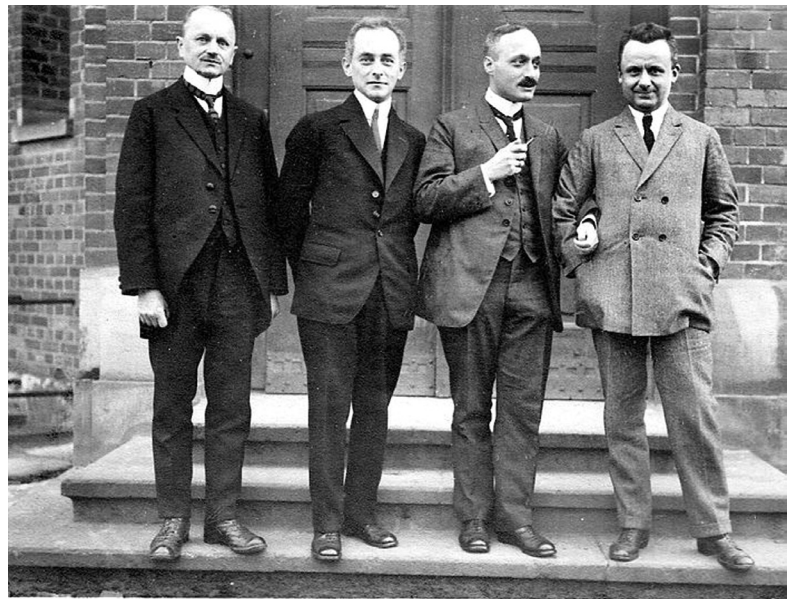
## Tormentas de acero

A pesar del fallecimiento de Minkowski, Born pudo por fin presentar su trabajo de habilitación (sobre electrodinámica) avalado por Woldemar Voigt (1850-1919), lo cual le permitió ejercer de *Privatdozent*, primer escalón en la estructura docente universitaria alemana de la época. Su tesis sobre electrodinámica causó muy buena impresión. Al poco tiempo recibió una invitación para impartir una conferencia en el octogésimo primer Congreso de Investigadores y Médicos Alemanes, que tuvo lugar en Salzburgo. Allí coincidió por primera vez (septiembre de 1909) con el joven Einstein, que presentaba públicamente su teoría de la relatividad. Einstein se convertiría en uno de sus grandes amigos e indudablemente en una de las personas que más influyeron en su manera de entender la vida. A la muerte de éste, en 1954, Born escribió con pesar: “Su muerte nos privó a mi esposa y a mí del amigo más querido”<sup>6</sup>.

En Gotinga, Born se fue a vivir con su amigo, el ingeniero y matemático aplicado, Theodore von Kármán (1881-1963) y otros compañeros. Fruto de su convivencia, Von Kármán y Born desarrollaron una sofisticada teoría físico-matemática sobre las vibraciones de las redes cristalinas, con la finalidad de deducir la ecuación que proporciona la dependencia del calor específico con la temperatura<sup>7</sup>. Sería su primer acercamiento serio y novedoso a la física atómica.

Parecía que, por fin, la vida le sonreía a Born. Conoció a Hedwig Ehrenberg (1891-1972), o Hedi, como la llamaban sus amigos, una extrovertida joven —tenía veinte años, mientras que Born acariciaba la treintena— proveniente de una ilustre familia luterana cuyo ascendente más notorio había sido el mismísimo Lutero. Se casaron al poco tiempo. A pesar de ciertos sinsabores<sup>8</sup>, se quisieron mucho y, sobre todo los últimos años de sus vidas, se sintieron muy unidos.

Esta vida feliz se truncó, y no solo para Born, con el estallido de la Primera Guerra Mundial. Al principio, como tantos otros, Born creía que Alemania ganaría la guerra antes de las siguientes navidades; sin embargo, pronto quedó claro que aquella no era una guerra como las anteriores. A partir de marzo de 1915, Born tuvo que incorporarse al ejército, concretamente en una unidad técnica de comunicaciones inalámbricas. La deriva de la guerra hizo que Born agudizase su postura antimilitarista, adquiriendo una visión profundamente crítica del sinsentido bélico y de la responsabilidad de su propio país en aquella locura. En septiembre de 1915 Born escribía a



Die Bornen

Frankfurt 1923

Hedi: “tengo la sensación de que el dolor de una madre por su único hijo, o el de una joven por su marido es mayor que la intensa batalla entre naciones”<sup>9</sup>. La evolución de Born fue fruto de sus propias reflexiones, compartidas con Hedi, y la influencia determinante de un pacifista radical: Albert Einstein. El azar quiso que el lugar de trabajo de Born estuviese situado a un par de calles de la casa de Einstein, con lo que se veían casi a diario<sup>10</sup>. El cambio no se limitó al plano de las ideas. En el invierno de 1917 Born participó, en compañía de otros intelectuales, en unos encuentros políticos secretos en los que se debatía sobre la evolución de la guerra, asumiendo con ello un riesgo considerable, ya que Born, como miembro activo de una unidad de investigación militar, no podía participar en encuentros de esta índole.

En plena guerra mundial Born se trasladó a Frankfurt para ocupar el puesto de Profesor Ordinario en la Facultad de Ciencias. Allí dirigió un laboratorio del Instituto de Física Teórica, teniendo a su cargo a tres personas entre las que se encontraba Otto Stern (1888-1969). Lamentablemente, dada las fuertes restricciones económicas de la época, era difícil sostener los costes de los experimentos. Así que Born, con imaginación y altruismo, consiguió parte de los fondos necesarios organizando durante tres semanas una serie de conferencias sobre la relatividad general (recientemente publicada por su

**Fig. 2.** Max Born (segundo por la izquierda) en compañía de Max Reich (primero por la izquierda), James Franck (segundo por la derecha) y Robert Pohl (primero por la derecha) en Gotinga (1923). Fuente: Wikipedia.

<sup>6</sup> Max y Hedwig Born, *Ciencia y conciencia en la era atómica* (Alianza Editorial, Madrid, 1971, p. 290).

<sup>7</sup> J. Sanchez-Ron, *Historia de la física cuántica I. El período fundacional (1860-1926)* (Crítica, Barcelona, 2005, p. 190-191).

<sup>8</sup> *Max Born* (Fundación Emmanuel Mounier, Madrid, 2015, p. 34-35).

<sup>9</sup> J. Lemmerich, *Science and Conscience: The world of two atomic scientists. Max Born (1882-1970) James Franck (1882-1964)*, (Science Museum, Londres, 1983 p. 10).

<sup>10</sup> Max Born entrevistado por Thomas Kuhn (17 de octubre de 1962). <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4522-3>



admirado Einstein); para asistir a las cuales había que abonar unos 700 marcos alemanes. Entre los experimentos que se costearon destacó especialmente el famoso experimento de Stern-Gerlach (Walther Gerlach [1889-1979] trabajaba también en Frankfurt), sobre la deflexión de un haz de átomos de plata en un campo magnético, el cual fue crucial para la posterior aceptación definitiva de la física cuántica.

Born se convertiría en uno de los primeros divulgadores de la teoría de la relatividad general. Poco después de sus socorridas conferencias escribió un libro de divulgación que tendría una gran difusión. En 1922 aparecería la traducción española: *La teoría de la relatividad de Einstein y sus fundamentos físicos: exposición elemental*, editada por Calpe. Born creía firmemente que las dos revoluciones de la física que marcaron esta época —la de la relatividad y la cuántica— emanaron históricamente de un mismo principio epistemológico —si se quiere denominar así, de corte positivista—, el cual afirma que una teoría física no puede basarse en nociones o conceptos que no sean empíricamente observables.

La fama de Born iba en aumento, por lo que no es de extrañar que le llegase una oferta para dirigir el Departamento de Física de la Universidad de Gotinga; proposición que aceptó gustoso. En abril de 1921, Born iniciaba su tercer periodo en la ciudad que más marcó su vida: Gotinga.

### El navegante que arriba a la tierra buscada

A principios de la década de los veinte del siglo xx era cada vez más evidente que los procedimientos de la física clásica eran insuficientes para proporcionar un modelo coherente y universal para todos

los fenómenos observados en el mundo atómico. El modelo atómico de Niels Bohr (1885-1962), refinado, entre otros, por Arnold Sommerfeld (1868-1951) —que incluyó efectos relativistas—, había dado sus frutos para el caso del átomo de hidrógeno, pero fallaba al aplicarlo a los demás átomos; además era incapaz de explicar ciertas observaciones espectroscópicas, entre las que destacaba el efecto Zeeman anómalo.

Born fue de los primeros en reconocer la necesidad de desarrollar un nuevo tipo de mecánica, con un andamiaje matemático coherente y riguroso<sup>11</sup>; una nueva mecánica en la que, en palabras de Born<sup>12</sup>: “Cada magnitud física depende de dos estados estacionarios, en vez de en una órbita, tal como se hace en mecánica clásica. Encontrar las leyes para las ‘magnitudes de transición’ era el problema”. De hecho, en verano de 1924 la revista *Zeitschrift für Physik* publicaba un artículo de Born en el que se acuñaba el término “mecánica cuántica” (*Quantenmechanik*).

Un joven prodigio, Werner Heisenberg (1901-1976), que llegó a Gotinga en octubre de 1922, y que ocupó el puesto de ayudante de Born que había dejado vacante Wolfgang Pauli (1900-1958), tendría un protagonismo esencial en el desarrollo de esta nueva mecánica. Influido por la filosofía positivista, Heisenberg se impuso a sí mismo la premisa de deducir una teoría únicamente basada en magnitudes observables, por lo que renunció al concepto clásico de movimiento de un electrón alrededor de una órbita. Focalizó su atención en las amplitudes de transición entre estados cuánticos del átomo, las cuales proporcionaban una magnitud observable: la intensidad de las líneas espectrales. Utilizando un modelo de vibración atómico basado en osciladores armónicos, relacionó las amplitudes de transición con los coeficientes de las series de Fourier complejas asociadas a los osciladores. Finalmente estableció unas reglas de multiplicación, no conmutativa, entre este conjunto de coeficientes.

Cuando Heisenberg comunicó a Born sus hallazgos<sup>13</sup>, éste quedó fascinado. Por su carácter formalista-matemático, Born se preocupó especialmente por entender las reglas de multiplicación propuestas por Heisenberg, llegando finalmente a asociarlas al cálculo matricial. De esta manera Born reinterpretó la regla de multiplicación de Heisenberg como:  $p \cdot q - q \cdot p = \left(\frac{h}{2\pi i}\right)I$ , donde  $p$  y  $q$  eran matrices cuyos elementos eran las

<sup>11</sup> Ver al respecto: J. Sánchez-Ron, *Historia de la física cuántica I. El período fundacional (1860-1926)* (Crítica, Barcelona, 2005, p. 424-425).

<sup>12</sup> M. Born. *My life: Recollections of a Nobel Laureate* (Charles Scribner’s Sons, Nueva York, 1978, p. 215).

<sup>13</sup> Que se publicarían el 18 de septiembre de 1925 en el artículo: “Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen”, *Zeitschrift für Physik*, 23(1), 879-893.

amplitudes de transición de las coordenadas de momento y posición, e  $I$  la matriz identidad. Como ya dijimos, Born había aprendido el cálculo matricial, que por aquella época era muy poco conocido entre los físicos, en un curso de álgebra lineal impartido por Rosanes. Sin embargo, solo los términos diagonales de la matriz  $I$  tenían correspondencia con la formulación de Heisenberg. Aunque, con la inestimable ayuda de otro de sus pupilos, Pascual Jordan (1902-1980), Born pudo concluir (por argumentos de invariancia) que la matriz  $I$  siempre debía ser diagonal.

Transcurrido el tiempo, Born consideraría la fórmula anterior como el “clímax de su investigación”; y lo expresaría con una maravillosa metáfora<sup>14</sup>:

Este resultado me conmovió igual que el navegante, después de un largo viaje sin rumbo, se conmueve al divisar la tierra buscada; lo único que lamentaba era que no estuviera allí Heisenberg.

Heisenberg estaba de estancia con Bohr en Copenhague, pero, a su vuelta, Heisenberg, Born y Jordan aunaron esfuerzos y publicaron juntos el artículo fundamental — el famoso trabajo de los “tres hombres” — de la mecánica cuántica<sup>15</sup>, en el cual exponían todas las herramientas matemáticas necesarias para la nueva mecánica.

En plena efervescencia creadora, por un compromiso ya adquirido, Born tuvo que posponer su prolífica colaboración. En noviembre de 1925 inició una gira de dos meses por Estados Unidos (empezando con un curso en el Massachusetts Institute of Technology) en la que introdujo las nuevas ideas de la mecánica cuántica en el continente americano. Algunas de estas conferencias llegaron a tener más de mil asistentes; quien en sus tiempos jóvenes fuera un pésimo profesor ahora era un ilustre orador. De hecho, fruto de esta labor divulgativa, un físico del MIT que atendió al curso de Born, John Slater (1900-1976), establecería la equivalencia del producto no-conmutativo de la mecánica cuántica con el paréntesis de Poisson, valiéndose para ello de la analogía con la mecánica hamiltoniana; aunque conviene recordar que, de manera independiente, Paul Dirac (1902-1984) llegaría a las mismas conclusiones<sup>16</sup>.

### La interpretación estadística

El formalismo matemático de la mecánica cuántica propuesto por Heisenberg, Jordan y Born tuvo una acogida desigual. Por un lado, Bohr o Pauli la

aceptaron con entusiasmo, por otro, los primeros iniciadores de las ideas cuánticas (Einstein, Planck o Sommerfeld) aun reconociendo la originalidad de la teoría, rechazaban que se renunciase a ciertos conceptos clásicos. No es de extrañar, pues, que para estos últimos la aparición, poco tiempo después, de la mecánica ondulatoria de Erwin Schrödinger (1887-1961) supusiese un cierto alivio.

Schrödinger, asumiendo la idea (propuesta por Louis de Broglie [1892-1987]) de que las



Fig. 3. Sello conmemorativo emitido en Alemania con ocasión del centenario del nacimiento de Max Born y James Franck (1982). Fuente: Wikipedia.

partículas tienen asociada una onda, fue capaz de deducir la expresión matemática (ecuación de Schrödinger) que describe el movimiento de esta onda. Para ello Schrödinger, al igual que de Broglie, se inspiró en la analogía entre la mecánica clásica y la óptica geométrica<sup>17</sup>; imponiendo una supuesta solución *ad hoc* de esa función de onda, llegó a la susodicha ecuación. Sin embargo, Schrödinger no pudo proporcionar una interpretación directa de la variable clave de su ecuación (que acuñó con la letra griega Psi:  $\psi$ ). En el fondo, su objetivo fundamental era otro: demostrar que las condiciones cuánticas de discretización se podían explicar de manera natural como los autovalores de su ecuación de onda; dicho de otra manera, como las soluciones de onda estacionaria. Ahora bien ¿qué era exactamente  $\psi$ ?

Schrödinger publicó sus trabajos sobre la función de onda en una serie de artículos en *Annalen der Physik*, que Born conocería tras su regreso de Estados Unidos. Born acogió con entusiasmo la ecuación de Schrödinger —a pesar de que Heisenberg, que solo admitía la mecánica matricial, le acusase de traidor— y la utilizó para estudiar fenómenos de colisión entre partículas. Una vez más, Born partió de una idea de Einstein, a saber: el que la intensidad de luz (el cuadrado de la amplitud de la onda electromagnética) es pro-

<sup>14</sup> M. Born, *Ciencia y conciencia en la era atómica* (Alianza Editorial, Madrid, 1971, p. 105).

<sup>15</sup> M. Born, W. Heisenberg, P. Jordan, “Zur Quantenmechanik. II” *Zeitschrift für Physik*, 35(8-9), 557-615 (1926).

<sup>16</sup> J. A. de Azcárraga, “P.A.M. Dirac, el ingeniero que imaginó casi todo antes que todos”, *Revista Española de Física*, 31(1), 57-68 (2017).

<sup>17</sup> Ver al respecto: “The classical roots of wave mechanics: Schrödinger transformations of the optical-mechanical analogy”, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 40(4), 338-351 (2009).

porcional, en términos estadísticos, a la cantidad de fotones existentes. Llevando esta idea al problema de las colisiones, Born pensó que el número de partículas antes y después de la colisión podrían reinterpretarse como una probabilidad estadística, lo cual le llevó a intuir que el módulo al cuadrado de  $\psi$  debía de representar la densidad de probabilidad de encontrar un electrón (u otra partícula) en una zona del espacio. Born primero envió una breve comunicación a *Zeitschrift für Physik* —publicada el 10 de julio de 1926 (¡apenas dos o tres meses después de leer los artículos de

de la física clásica resulta ser una quimera, producida por la sobreestimación de los conceptos lógico-matemáticos. Es un ídolo, no un ideal, de las ciencias naturales”.

Por lo revolucionaria que era esta nueva forma de entender la naturaleza, no es de extrañar que fueran muchos los que no la admitieron. El primero de ellos, el propio creador de la mecánica ondulatoria, Schrödinger. Como tiempo después Born contase a Thomas Kuhn (1922-1996) en una entrevista<sup>21</sup>:

Oh, ¡tuvimos discusiones terribles! [...] Y he tenido cartas tuyas horribles. Siempre se opuso a estas cosas. [...] Además, estaban Einstein, Planck, Von Laue, Schrödinger y Pauli, todos los fundadores de la nueva teoría que no creyeron en esta nueva interpretación: ¿por qué? ¿cuál es la diferencia entre su forma de pensar y la de Bohr o la mía propia? Fuimos los únicos *old fellows* que adoptamos el nuevo camino.

Otro de los *old fellows* que se opusieron con fuerza a la interpretación de Born fue Einstein, con quien Born mantuvo un debate epistolar recurrente sobre el determinismo en la física. En diciembre de 1926 Einstein escribía a Born lo siguiente<sup>22</sup>:

La mecánica cuántica es algo muy serio. Pero una voz interior me dice que de todos modos no es ése el camino. La teoría dice mucho, pero en realidad no nos acerca gran cosa al antiguo secreto. En todo caso estoy convencido de que *Él no juega a los dados*.

Esta última expresión de Einstein: “Él (Dios) no juega a los dados”, famoso por su ingenio creando aforismos, se convertiría en una de las frases más célebres de la historia de la ciencia, además de recurrente cita en multitud de libros de divulgación o filosofía de la ciencia.

### Tiempos aciagos y un premio con retraso

En octubre de 1926 llegaría a Gotinga un nuevo pupilo estadounidense, Robert Oppenheimer (1904-1967) que, al igual que Heisenberg, adquiriría un protagonismo especial durante la Segunda Guerra Mundial. Oppenheimer absorbería buena parte del tiempo de Born. Y es que a partir de ese momento a Born le costaría mantener la tensión intelectual que se requería para seguir innovando en la nueva física. Investigadores más jóvenes, muchos de ellos habían sido pupilos suyos, serían los nuevos protagonistas. De hecho, en el invierno de 1928, Born sufrió una crisis nerviosa, en parte por el esfuerzo mental —



Fig. 4. Max Born en compañía de Friedrich Hund, en Gotinga en 1966.

Schrödinger!)<sup>18</sup> — que pronto extendería en un artículo posterior<sup>19</sup>.

La interpretación en términos estadísticos de  $\psi$  implicaba implícitamente la imposibilidad de conocer de manera exacta la posición de una partícula en el espacio. Esto suponía, indudablemente, un ataque frontal al pilar fundamental de la física clásica: la noción causal-determinista de la mecánica. La audaz propuesta de Born significaba que la física debía renunciar a lo que había sido su desiderátum desde la Ilustración: el llegar a poder describir de manera completa los sistemas físicos en términos espacio-temporales; al menos en las escalas cuánticas de los sistemas microscópicos.

Born fue plenamente consciente de lo que suponía su nueva interpretación; así, llegaría a afirmar de manera concluyente<sup>20</sup>: “El determinismo

<sup>18</sup> Max Born entrevistado por Thomas Kuhn (17 octubre 1962). <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4522-3>.

<sup>19</sup> M. Born, “Zur Quantenmechanik der Stossvorgänge. (Vorläufige Mitteilung)”, *Zeitschrift für Physik*, 37, 863-867 (1926).

<sup>20</sup> Citado por M.<sup>a</sup> Pilar González, “Probabilidad y causalidad en la filosofía de Max Born”, *Logos. Anales del Seminario de Metafísica*, 23, 241-269 (2005). Cita de Max Born de: *Statistical interpretation of quantum mechanics. Physics in my generation*, 1955.

<sup>21</sup> Max Born entrevistado por Thomas Kuhn (17 de octubre de 1962). <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4522-3>.

<sup>22</sup> M. y H. Born & A. Einstein, *Correspondencia (1916-1955)* (Siglo XXI, Madrid, 1999, p. 119).

aunque en ella influirían los acontecimientos políticos y circunstancias personales<sup>23</sup>— que lo mantuvo inactivo durante casi un año.

La situación política vino marcada por el ascenso al poder del nazismo, lo cual fue aciago para Born y su familia. Tras la promulgación de la Ley para la Restauración del Servicio Civil Profesional (abril de 1933), Born se enteró de su cese como funcionario público de una manera un tanto degradante: lo vio publicado en un periódico local. El 10 de mayo de 1933 Born y su familia abandonaban Gotinga refugiándose en el Tirol italiano. A pesar de la expulsión de Born y por extraño que parezca —algo que revela la, a menudo, caótica administración del Tercer Reich— siguió recibiendo su salario hasta 1938; si bien los ingresos se hacían en una cuenta bancaria alemana, de donde no se podía transferir el dinero al extranjero. Asertadamente, aunque no falto de riesgo, Born utilizó ese dinero para ayudar a familiares y amigos judíos dentro de Alemania.

Tras un periplo por varios centros —Cátedra Stokes en la Universidad de Cambridge (durante dos años) donde colaboró con Leopold Infeld (1898-1968), y estancia investigadora, invitado por Chandrasekhara Venkata Raman (1888-1970), en Bangalore (India), de octubre de 1935 a marzo de 1936—, por fin consiguió un puesto estable como Tait Chair of Natural Philosophy en la Universidad de Edimburgo, un gran honor ya que fue uno de los tres únicos físicos refugiados que durante la década de los treinta consiguió un puesto permanente en Gran Bretaña. En Edimburgo, Born y Hedi finalmente encontraron la estabilidad largamente deseada; allí permanecerían diecisiete años de su vida.

A pesar de la aparente serenidad de la nueva vida de Born, los acontecimientos seguían interpellando a su responsabilidad. Tras la anexión de Austria por el Tercer Reich, en la primavera de 1938, el número de requerimientos de asilo aumentó considerablemente, aunque, a la vez, la mayoría de los países decidieron no aumentar las cuotas de inmigración, por lo que se creó para muchos judíos una situación verdaderamente angustiada. La intervención de Born fue crucial en algunos casos, como en el de Schrödinger (que no era judío), intercediendo para conseguirle una posición en Dublín. En contraste con la zozobra de estos días, en marzo de 1939 Born era nombrado Fellow de la Royal Society of London, la sociedad científica más reconocida del mundo.

Si en la Primera Guerra Mundial Born y su familia sufrieron verdaderas penurias por la escasez de alimentos ocasionada por el bloqueo naval británico, la Segunda Guerra Mundial fue, aún si cabe, más desgarradora. El exterminio de

millones de judíos alcanzó a varios familiares y amigos de Born, ascendiendo, como dolorosamente anotó en una lista, hasta un total de treinta y cuatro nombres. Algunos familiares eran ya octogenarios, como su tía paterna, que murió en el campo de concentración de Theresienstadt, o su tía materna, que se suicidó pensando que sería deportada a un campo de concentración.

La catarsis de la Segunda Guerra Mundial cambió radicalmente la concepción que se tenía de la ciencia. Born, siendo consciente de su popularidad en el mundo de la ciencia, pensó que podía utilizar su estatus para llegar a mucha más gente en pos de un activismo social. Con especial ahínco, se involucró en iniciativas para promocionar la paz. Así, proponía a Einstein lo siguiente<sup>24</sup>:

Los científicos deberíamos unirnos para ayudar a la formación de un mundo nuevo y razonable. [...] Deberíamos tener una organización internacional y, cosa aún más importante, un código internacional de conducta y de ética (como las muy estrictas reglas que tienen los médicos ingleses dentro de su profesión), mediante el cual nuestra comunidad científica podría hacer de poder regulador y estabilizador en el mundo y dejaría de ser, como ahora, un simple instrumento de las industrias y de los gobiernos.

Después de diecisiete años en Escocia a Born le llegó la edad para jubilarse. Él y Hedi, después de meditarlo, decidieron volver a Alemania, entre otras cosas, para tratar de colaborar en la necesaria reconciliación del país. Compraron una casita en la pequeña localidad de Bad Pyrmont, situada en Baja Sajonia, lugar donde habían pasado su luna de miel. En Bad Pyrmont, imbuidos en una apacible vida de lecturas, música y naturaleza, un día de noviembre de 1954 le llegó, por telegrama, el anuncio oficial de la concesión del Premio Nobel de Física. La noticia sorprendió gratamente a Born ya que, a sus setenta y dos años de edad, ya no lo esperaba. El Premio se le concedió por sus “fundamentales investigaciones en mecánica cuántica, en especial por su interpretación estadística de la función de onda”, siendo compartido con Walther Bothe (1891-1957).

### La llamada a la responsabilidad

Pronto se descubrió que los horrores de Hiroshima y Nagasaki podrían palidecer ante las futuras amenazas nucleares. El 1 de marzo de 1954 Estados Unidos realizó su primera prueba de una bomba termonuclear en una isla coralina del Pacífico. A pesar de su pretendido encubrimiento, la radiactividad, provocada tras la detonación, llegó a

<sup>23</sup> Max Born (Fundación Emmanuel Mounier, Madrid, 2015, p. 64-65).

<sup>24</sup> Max y Hedwig Born, *Ciencia y conciencia en la era atómica* (Alianza Editorial, Madrid, 1971), p. 184.

Fig. 5. Lápida de Max y Hedwig Born en Gotinga. Fuente: Wikipedia.



un barco pesquero japonés provocando la muerte de uno de los pescadores. El temor a una nueva guerra —ésta de proporciones apocalípticas— volvía al escenario mundial.

Born fue de los primeros científicos en asumir su responsabilidad ética. Sugirió a Bertrand Russell (1872-1970), figura señera de los movimientos pacifistas, la idea de preparar un manifiesto firmado por varios premios Nobel y que fuese dirigido a distintos gobiernos sobre los que se pretendía influir. A Russell le entusiasmó la idea; de tal manera que su desarrollo condujo, tiempo después, a la aparición del famoso manifiesto Russell-Einstein<sup>25</sup>, que fue firmado por once científicos de primera línea, entre los cuales se encontraba Born. Russell llegó a tener una profunda estima por Born. Así, en 1961 le escribía elogiosamente: “He encontrado en usted una especie de generosidad y de libertad de autoafirmación que es muy rara hasta entre aquellos que, en conjunto, admiro. Se me presenta usted como hombre en posesión de la nobleza; que por desgracia es una rara cualidad”<sup>26</sup>.

El manifiesto Russell-Einstein tuvo una repercusión inusitada; acaso porque Russell supo venderlo como el último gran acto político de Albert Einstein, ya que falleció tan sólo un día antes de firmar el manifiesto, que se haría público el 9 de julio de 1955. Además, el manifiesto sería

el germen de la serie de conferencias Pugwash sobre Ciencia y Asuntos Internacionales cuyo objetivo fundamental era fomentar el desarme nuclear a través de una actitud de entendimiento y concordia; muchos años después, en 1995, las Conferencias Pugwash recibirían el Premio Nobel de la Paz.

Born también participó de forma activa en el movimiento antimilitarista que surgió en Alemania Occidental en torno a la figura de Otto Hahn (1879-1968). Hahn, Heisenberg, el físico y filósofo Carl von Weizsäcker (1912-2007) y Born decidieron escribir un manifiesto conjunto, de cuyo primer borrador se encargó Born. El manifiesto se leyó el 15 de julio de 1955 en la isla de Mainau —de ahí que se conozca como Manifiesto Mainau— durante la Reunión Lindau: reunión anual que desde 1951 congrega a los premios Nobel de química, física y medicina. Inicialmente se firmó por dieciocho premios Nobel, aunque un año después se habían adherido hasta cincuenta y uno de ellos. La repercusión mediática en la Alemania Federal fue considerable, aunque, en cierto modo, internacionalmente quedó eclipsada por el manifiesto Russell-Einstein. El manifiesto Mainau supuso el punto de partida de otra interesante iniciativa: la Declaración de los 18 de Gotinga, en la que, una vez más, Born jugó un papel destacadísimo. Un breve, pero contundente manifiesto, que incluía toda una declaración de principios:

Para un país como Alemania creemos que la mejor manera de promocionar la paz mundial y protegerse a sí misma es renunciar voluntariamente a todo tipo de armas nucleares. Ninguno de los firmantes desea trabajar en la producción, prueba y uso de armas nucleares.

El Manifiesto de Gotinga fue el último acto político de transcendencia en el que participase Born. Aunque nunca cejó en su empeño, el paso del tiempo irremediamente le situaba en un segundo plano público. En su dimensión privada, los últimos años de su vida fueron todo lo apacibles que no habían sido durante sus tiempos jóvenes.

Born murió en la ciudad de Gotinga el 5 de enero de 1970 a los 87 años de edad. En su tumba se encuentra inscrita la ley que consideraba su mayor aportación a la ciencia:  $p \cdot q - q \cdot p = \left(\frac{h}{2\pi i}\right) I$ . Sin embargo, su legado dista mucho de limitarse a esta fórmula. Más allá de sus contribuciones al conocimiento científico, su vida es un testimonio inestimable de la importancia del sentido y el sentimiento ético en el quehacer científico y, por ende, humano. Hombres como Born, o su admirado y querido Einstein, no solo transformaron la forma de entender la naturaleza, sino también los valores éticos que acompañan a la ciencia.

<sup>25</sup> S. Butcher, *The origins of the Russell-Einstein manifesto*, (Pugwash Conferences on Science and World Affairs, Virginia, 2005).

<sup>26</sup> Citado por B. Russell, *Autobiografía 1944/1967* (Aguilar Ediciones, Madrid, 1971, p. 241). En 1964 Born sería uno de los patrocinadores de la Fundación Bertrand Russell Por la Paz.