

ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN. LA RELATIVIDAD ESPECIAL EN EL SISTEMA UNIVERSITARIO ALEMÁN, 1906-1917

UNAI ETXEBARRIA BILBAO

Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

RESUMEN

La comprensión de la ciencia como proceso y la unidad entre enseñanza e investigación fueron dos principios centrales de la nueva universidad alemana desde el siglo XIX, que subrayaban los elementos innovadores y prácticos de la ciencia. A la luz del ejemplo de la teoría especial de la relatividad, se verá cómo las posibilidades abiertas por esta redefinición del contenido y función de la educación universitaria en Alemania capacitaría con posterioridad que las innovaciones que se producían en la ciencia fueran rápidamente incluidas y debatidas en las aulas, condición que, a su vez, beneficiaba la rápida difusión y extensión de tales innovaciones.

ABSTRACT

Understanding science as process and unity of teaching and research were two nuclear principles of the new german University in nineteenth century which emphasized the practical and innovative aspects of science. In the light of the example given by Einstein's theory of relativity, we show how this new definition of university education content and function would later on enable to include and discuss in the lecture rooms the innovations that took place in science, and how those conditions aided at the same time the rapid diffusion and extension of these innovations.

Palabras clave: Siglos XIX-XX, Alemania, Física, Teoría Especial de la Relatividad, Universidad, Educación, Transmisión de la Ciencia, Planck.

1. Introducción

Si en alguna institución social ha de buscarse el proceso de recepción de las teorías científicas en relación a los diferentes estilos nacionales de ciencia, si es que algo así existe, el lugar hacia el que ha de dirigirse la mirada es el sistema educativo. En particular, la diversa respuesta dada a la teoría de la relatividad especial en diferentes países parece que estuvo directamente relacionada con la estructura del sistema educativo en cada país [GOLDBERG, 1987, pp. 3-4]. Por ejemplo, si en Alemania la relatividad especial fue durante sus primeros años atentamente examinada, generando, en consecuencia, un acalorado debate en torno a los merecimientos de la teoría [*Ibid.*], Francia, por el contrario, se mostró muy poco receptiva, no sólo hacia la relatividad, sino en general a cualquier cambio que se producía en las ciencias físicas (teoría de Maxwell, mecánica estadística y mecánica cuántica) [PATY, 1987, p. 115]. Esta diferente respuesta surge como efecto inmediato a dos sistemas educativos opuestos. El debate surgido en torno a la relatividad en Alemania, y que sucedió únicamente en este país, solo fue posible debido a un sistema educativo que podía tolerar tales debates. Por el contrario un sistema educativo rígido, altamente jerarquizado y cuya orientación en la enseñanza se regía más por la mirada hacia el pasado que hacia el presente, como era el caso del francés, resultaba un terreno muy poco favorable para el cultivo y desarrollo de las nuevas ideas [*Ibid.*, p. 4. *Ibid.*, p. 114]. En concreto, el sistema educativo francés se caracterizaba por la enseñanza de la física como un logro plenamente alcanzado y seguro, organizado alrededor de las categorías newtonianas, y que ofrecía la enseñanza de la ciencia como un sólido cuerpo doctrinal, que sería perpetuado por el sistema educativo [*Ibid.*, p. 116]. El concepto que aquí sub-yace de la enseñanza está así más cercano al de una acción normalizadora, que al de la potenciación del librepensamiento y de la innovación, fomentada en el sistema educativo alemán, y al cual se restringirá este análisis.

El presente artículo tiene como objeto presentar la celeridad con la que la teoría de la relatividad especial se incluyó dentro del sistema universitario alemán a la luz de los dos principales componentes que definen la labor universitaria: la enseñanza y la investigación, dos aspectos que la universidad alemana juzgó indisociablemente unidos. Para ello se abordará, a continuación, el origen y contenido que hicieron de esta unidad un elemento característico de la universidad alemana, cuestión que proporcionará las claves para comprender la rápida asimilación de la relatividad especial en el sistema universitario alemán a través de los cursos ofrecidos sobre este tema, así como las tesis

doctorales que tuvieron como base la teoría de Einstein, cuestiones ambas que serán tratadas en posteriores secciones.

2. La ciencia como proceso: la unidad entre enseñanza e investigación¹

El sistema universitario alemán representó durante la segunda mitad del siglo XIX y hasta la llegada del nazismo, el modelo académico cuyos éxitos querían repetir la mayoría de países occidentales. De tal modo, que *la educación de un científico [norte]americano o británico no era considerada completa hasta que hubiera pasado algún tiempo en Alemania* [BEN-DAVID – ZLOCZOWER, 1962, p. 47].

La época guillermina fue para la universidades alemanas un periodo de gran prosperidad material y de expansión [RINGER, 1995, p. 59], que hizo que se convirtieran en un modelo cuya organización, disponibilidad de instalaciones y productividad científica fueran envidiables para aquellos científicos que acudían desde otros países con la finalidad de completar su formación académica. Por ejemplo, el paso de médicos norteamericanos por las universidades alemanas, especialmente durante el final del siglo XIX, desplazamiento que se mantuvo hasta la I Guerra Mundial, se tradujo en todo un descubrimiento. Allí encontraron que existía un ambiente y una libertad desconocida para el sistema norteamericano de enseñanza, que propiciaba de manera excepcional la producción científica tanto en su cantidad como en su calidad, siendo especialmente lo que les fascinó el hallazgo de una libertad de cátedra (*Lehrfreiheit*) y libertad de aprendizaje (*Lernfreiheit*) en el fundamento de este éxito [BONNER, 1963, p. 14]. Así, en relación a los contenidos de dos actividades como la enseñanza y la investigación, la libertad de la que disponía el profesor acerca de las materias a enseñar no podía verse interferida de ningún modo; la enseñanza se suponía en este sentido tan libre y espontánea como la propia investigación [BEN-DAVID, 1972,p. 47]².

Las características concretas del sistema universitario alemán herederas del siglo XIX que definieron su específico carácter, y que contribuirían a su enorme éxito (y no en poca medida, también a su posterior fracaso) al garantizar la libertad de cátedra y de aprendizaje, podrían resumirse en los siguientes puntos [BEN-DAVID – ZLOCZOWER, 1962, pp. 49, 57, 56]:

1. La fuerte personificación de cada disciplina en torno a la figura del catedrático y su libertad de decisión acerca de las materias que debían enseñarse.

2. La descentralización del sistema universitario, lo que originaba una gran competitividad entre las diferentes universidades que facilitaba la innovación.

3. El doble rol de profesor e investigador, que obligaba al profesor a realizar importantes aportaciones en su campo, y, en consecuencia, a no perder el hilo de los nuevos avances.

Es esta última característica de unidad entre la enseñanza y la investigación, la que de modo más representativa y radical definió el sistema universitario alemán en contraposición a los sistemas anglosajón y francés de enseñanza universitaria. Esta idea de unidad, entendida como un ideal normativo, se fraguó como un producto intelectual del neohumanismo, idealismo y romanticismo alemanes durante la primera mitad del siglo XIX, y ha sido caracterizada a través de seis elementos específicos [STICHWEH, 1994, pp. 229-39]: En primer lugar, se resaltaba la investigación como el nuevo concepto que había de definir el elemento dominante de la conducta científica. El nuevo concepto de investigación debía dar preferencia a la innovación, al descubrimiento y a la difusión del conocimiento, de modo que llevara consigo un proceder activo, dinámico e inquiridor. En segundo lugar, un cambio radical en la estructura del concepto de ciencia, en donde se subrayaba como el elemento más importante el método, en lugar del saber y de los resultados. Esto es, son preferibles los errores obtenidos siguiendo un determinado método que las conclusiones o verdades alcanzadas casualmente. En tercer lugar, se arguyó la imposibilidad de la comunicación del saber. En otras palabras, el acto de transferencia del conocimiento es en realidad un proceso de interacción entre profesor y alumno en el que éste último *reconstruye* como sujeto activo un nuevo conocimiento mediante la interiorización de la información y del método. En cuarto lugar, se criticó la noción de educación, dado que ésta pudiera ser entendida como un ideal normativo para la Universidad, incompatible con la unidad de enseñanza e investigación. En quinto lugar, se exhortó acerca de las lecturas y la enseñanza académicas, instando a que éstas se formularan como un proceso dialógico. Y, finalmente, se dio una preferencia por la unidad, en contraposición a la segmentación o jerarquización de los ámbitos de la realidad.

Lo expuesto en las líneas precedentes da la clave de interacción entre los tres grandes conceptos, enseñanza, aprendizaje e investigación, sobre los que había de estructurarse la forma y el contenido de la ciencia en la universidad, cuestión que se constituyó en uno de los grandes temas de reflexión entre 1790 y 1850, y al que contribuirían intelectuales como Wilhelm von Humboldt (1767-1835), quien de hecho fue responsable entre 1809 y 1810 de la sección

de Educación perteneciente al Ministerio del Interior prusiano. Concebida la ciencia como *proceso* sujeto a la interacción de los tres componentes, el bramarante que tenía que amarrar este triple entrelazado era la *práctica*, esto es, la ‘manipulación’ de un conocimiento sistematizado a través de determinados métodos, teorías, técnicas e instrumentos³, y todo ello *con la finalidad de solucionar problemas específicos y de producir nuevo conocimiento, de innovar*. Avanzado el siglo, el resultado de estas reflexiones, lejos de perpetuarse en interminables disquisiciones bizantinas, tendría su reflejo real con posterioridad en figuras como el químico Justus Liebig (1803-1873), quien a través de su Laboratorio en Giessen materializó aquel ideal de unidad entre enseñanza e investigación.

La excepcionalidad del magisterio de Liebig en la primera mitad del siglo XIX, dejó de serlo a medida que avanzaba el siglo, y la unidad entre enseñanza e investigación modeló la totalidad de las ciencias en Alemania. La creciente relevancia de la física, y en particular de la física teórica como área especializada en la universidad a medida que avanzaba el siglo, no fue ajena a esta caracterización⁴. Bien al contrario, el ideal de unidad entre ambos factores marcó el futuro de una disciplina que experimentaría un crecimiento institucional espectacular a partir de 1870-1880⁵, y que comenzado el siglo XX encontraría su cenit en la teoría de la relatividad y en la mecánica cuántica.

Un ejemplo ilustrativo de lo que hasta ahora ha sido dicho en términos generales viene dado por la propia teoría de Einstein nacida en 1905. La rápida inclusión de la teoría como tema docente y el intenso grado de exploración teórica y experimental al que fue sometida, es el más claro reflejo de aquellas peculiaridades.

3. La relatividad especial en las aulas, 1906-1914

Teniendo presentes las anteriores consideraciones podrían citarse a Max Planck, Hermann Minkowski y Arnold Sommerfeld, como personificación de las características precedentes; herederos, en cierto modo, del gran químico Liebig. Los tres fueron al mismo tiempo extraordinarios innovadores en física y matemáticas, y excepcionales profesores, cuyos nombres han quedado asociados a los principales centros alemanes de investigación y enseñanza en ciencias físico-matemáticas, como Berlín, Gotinga y Múnich, en un tiempo en el que Alemania era indiscutiblemente la primera potencia mundial en el

campo de la Física. Es de hecho sobre ellos sobre quienes descansó la difusión de la relatividad especial en los años inmediatamente posteriores a la publicación de Einstein de su artículo sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, y en quienes fijaremos nuestra atención en las siguientes páginas. De entre ellos, la figura de Minkowski representa el caso más complejo, ya que como profesor de matemáticas en Gotinga, sus exposiciones de la relatividad contienen unos rasgos distintivos específicos que sólo se comprenden a través del acercamiento a la realidad física propugnada en la facultad de Matemáticas de Gotinga, bajo las figuras de Felix Klein y David Hilbert, en la que era sobre todo la reformulación cuadrimensional realizada por Minkowski y la incidencia en los aspectos formales matemáticos, esto es, la invariancia, los aspectos subrayados, en sustitución del contenido físico de la teoría⁶. En cualquier caso, aquí no nos interesan las divergencias de interpretación adoptadas por los diferentes físicos en torno a la relatividad especial, sino la constatación de que la propia estructura y concepción del sistema universitario alemán, fue un motivo cardinal en la rápida difusión de la teoría de Einstein.

Max Planck (1858-1947) quien tras la muerte de Hermann von Helmholtz (1821-1894) sucedería a éste como el físico teórico principal en Berlín, pasó a ser el máximo responsable de la física teórica en Alemania, tanto por la posición académica ocupada, como por la sucesión de Helmholtz en el papel asesor en la publicación de física más renombrada del mundo entonces, los *Annalen der Physik*. No obstante, la principal actividad del Instituto de Física del que era director Planck era la enseñanza. Esto comprendía la docencia, la asignación y corrección de ejercicios escritos y la dirección de trabajos innovadores [JUNGNICKEL-McCORMACH, 1986, p. 255].

El interés y rápido desarrollo que la física teórica estaba obteniendo en Alemania en las últimas décadas del siglo pasado fue incrementándose paulatinamente, teniendo su reflejo natural en el número de estudiantes que acudían a las clases dadas por Planck en Berlin. Así, de una media de 55 alumnos matriculados en las lecciones generales e introductorias de Física en 1896-97, su número ascendió a 135 en 1903-04. Otro tanto cabe decir del alumnado que acudía a las prácticas o que realizaba trabajos individuales; de 18 en 1890, con Helmholtz, a 89 bajo la dirección de Planck en 1900 [*Ibid.*].

De este modo, la labor de Planck como profesor en Berlín, junto a su cargo de asesor, y a partir de 1906, editor de la prestigiosa revista de los *Annalen*, sin olvidarse de su papel como presidente de la Sociedad Alemana de

Física, le confirió una excepcional posición dentro de la comunidad científica alemana. Saliendo en defensa de la teoría de la relatividad frente a la teoría de Abraham y los resultados de Kaufmann, y haciendo notables aportaciones en el desarrollo de la teoría, Planck se convertiría entre 1906 y 1914 en el principal artífice de la rápida difusión, extensión y enseñanza de la relatividad especial⁷, y a él se le debe de hecho el primer curso acerca de la relatividad especial.

Según le refirió Max von Laue (1879-1960) en 1952 al biógrafo de Einstein, Carl Seelig, la primera vez que oyó hablar del trabajo de Einstein de la relatividad especial, fue a Planck a finales de 1905, durante el semestre de invierno de 1905-1906, en el primero de una serie de cursos llevados a cabo en la Universidad de Berlín, en el que expuso el contenido de la publicación⁸. Planck, no obstante, no se limitaría únicamente a propagar la nueva teoría entre su alumnado, sino que además estimularía a algunos de sus estudiantes a trabajar en el campo de la relatividad, como por ejemplo a Mosengeil o a Laue, entonces su *Assistent*, cuestión sobre la que nos detendremos más adelante. Quizás por ello no sea casualidad que los dos primeros textos escritos sobre la relatividad especial se deban a dos de sus antiguos alumnos, Max von Laue, quien escribió el primer texto sobre relatividad especial en 1911, y Ludwik Silberstein (1872-1948), cuyo libro *The theory of relativity* de 1914 fue el primer texto en inglés publicado, y basado sobre un curso pronunciado en el *University College* de Londres durante el año académico de 1912-13⁹. No es pues extraño que Einstein reivindicara por entonces que la temprana atención de la comunidad científica hacia la relatividad tuviera en Planck a su máximo responsable [EINSTEIN, 1913, p. 1079. CPAE 2, p. 267. CPAE 5, p. 40n], quien ya desde 1904 mantenía correspondencia con Einstein [CPAE 5, p. 50n]. Se ha dicho que Planck realizó en su vida dos grandes descubrimientos: el cuanto de luz y Einstein, pero desde la perspectiva de Einstein, puede decirse que fue una gran suerte para él que en su camino se encontrara con una figura como Planck.

La segunda ocasión en que se dio un curso acerca de la relatividad especial, fue debida al antiguo profesor de Einstein, el matemático Hermann Minkowski (1864-1909). En octubre de 1907, Minkowski le solicitaba a Einstein una copia del trabajo publicado en los *Annalen* ya que tenía la intención de manejar el texto,

«En nuestro seminario del Semestre de Invierno también queremos manejar su interesante trabajo sobre la electrodinámica»¹⁰.

Minkowski, profesor de Matemáticas en la Universidad de Gotinga, ofreció el seminario en co-dirección con David Hilbert sobre ecuaciones diferenciales parciales de la electrodinámica¹¹. Semanas más tarde, el 5 de noviembre de 1907, Minkowski pronunciaba ante la Sociedad Matemática de Gotinga una disertación en la que exponía por primera vez el principio de relatividad de Einstein, y cuyo texto, en el cual las dos primeras secciones de las cuatro de que constaba, electricidad, materia, dinámica y gravitación, se encontraban reformuladas a partir del seminario anteriormente citado¹², prepararía con posterioridad Sommerfeld para su publicación tras la prematura muerte de Minkowski [MINKOWSKI, 1915].

El siguiente centro universitario en donde nos encontramos con un curso de la relatividad especial fue en la Universidad de Munich. Allí se encontraba como Director del Instituto de Física, Wilhelm Röntgen (1845-1923), quien ya había mostrado un temprano interés por los trabajos de Einstein al solicitarle a éste último en septiembre de 1906 copias de sus publicaciones, en relación probablemente con una conferencia que iba a pronunciar a finales del mismo año sobre las ecuaciones del movimiento del electrón [CPAE 2, p. 267. CPAE 5, doc. 40, pp 43-4]. Será en cambio Arnold Sommerfeld (1868-1951) quien durante el semestre de invierno de 1908-1909 daría el curso *Electrodinámica, especialmente la Teoría del Electrón* y un *Seminario acerca de cuestiones de Electrodinámica*, cursos que con posterioridad pensó con satisfacción que habían sido los primeros en torno a la relatividad especial [JUNGNICKEL-McCORMMACH, 1986, 283]. Sommerfeld, quien tuvo sus primeras noticias del trabajo de Einstein a raíz de Wilhelm Wien (1864-1928) [CPAE 2, p. 267n], Profesor de Física en la Universidad de Würzburg y coeditor junto con Planck de los *Annalen de Physik* tras el suicidio de Paul Drude en 1906, había acudido a la conferencia pronunciada por Röntgen, y fue entonces cuando decidió la posibilidad de dar un coloquio sobre la cuestión [*Ibid.*], sin embargo el motivo final que convirtió a Sommerfeld a la teoría de Einstein fueron los escritos de Minkowski [McCORMMACH, 1970, p. 490]. El espacio de tiempo transcurrido entre su temprana decisión y su posterior materialización dos años después pudo estar motivado además por la negativa impresión que mantuvo de la relatividad especial entre ambas fechas¹³.

A partir de entonces, la presencia de la relatividad especial en las diferentes universidades comienza a generalizarse paulatinamente, y es suficiente con citar aquellos cursos cuyo contenido puede identificarse directamente por el

título para sustentar esta afirmación. El listado comienza con el curso impartido por Friedrich Harms (1876-1946), Profesor no numerario y Ayudante de Wilhem Wien en la Universidad de Würzburg. De hecho, ya se ha indicado en relación a Sommerfeld el papel desempeñado por Wien, a quien se le debe también la influencia en Jakob Laub (1882-1962), quien tras realizar la tesis doctoral con Wien acerca de la emisión secundaria de rayos catódicos, rápidamente orientó sus trabajos hacia la teoría de Einstein animado precisamente por su profesor, y contribuyendo con varios artículos en 1907 y 1908 [PYENSON, 1990, pp. 316-7], en el primero de los cuales deducía el coeficiente de arrastre de Fresnel en medios no dispersivos y válido para primer orden (u/c) a partir de la independencia de la definición de Einstein de la sincronización de relojes del medio en el cual se encuentran los relojes. Cuestión que posteriormente extendería a medios dispersivos y para cualquier orden de u/c ; convirtiéndose así en el primer colaborador científico de Einstein en el año 1908.

A partir de entonces, esto es, desde 1909-10 y hasta 1914, los cursos sobre relatividad especial que aparecen en los programas regulares de estudios de las universidades fueron los siguientes:

— *Semestre de verano 1909-10*

U. Würzburg. F. Harms. *Übersicht über die Elektronentheorie, Relativitätstheorie.*

— *Semestre de verano 1910*

U. Múnich. M. Laue. *Besprechung von Arbeiten aus dem Gebiete des Relativitätstheorie.*

— *Semestre de invierno 1910-11*

U. Graz. A. Waßmuth. *Das Prinzip der Relativität.*

U. Estrasburgo. E. Cohn. *Die neuere Entwicklung der Elektrodynamik*¹⁴.

— *Semestre de verano 1911*

U. Gotinga. E. Wiechert. *Elektronentheorie und Relativitätsprinzip*¹⁵.

U. Kiel. Zahn. *Besprechung ausgewählter Kapitel der theoretische Physik: Elektronentheorie und Relativitätsprinzip.*

U. Múnich. A. Sommerfeld. *Ausgewählte Texte der Elektrodynamik und Mechanik von Standpunkt des Relativitäts. Seminar: Vorträge der Mitglieder über Relativität.*

U. Viena. Frank. *Das Relativitätsprinzip, seine Grundlagen und seine Anwendungen.*

— *Semestre de Invierno 1911-12*

U. Breslau. Pringsheim. *Einführung in die Relativitätstheorie.*

U. Zürich. P. Debye. *Relativitätstheorie nebst Anwendungen.*

— *Semestre de invierno 1912*

TH Berlín. J. Petzoldt. *Das Relativitätsprinzip der Physik in Erkenntnistheoretischen Zusammenhang¹⁶.*

U. Múnich. M. Laue. *Das Relativitätsprinzip und seine Folgerungen.*

— *Semestre de Invierno 1912-13*

U. Heidelberg. F. Pockels. *Einführung in der Relativitätstheorie (Kolloquium).*

U. Estrasburgo. E. Cohn. *Die neuere Entwicklung der Elektrodynamik.*

— *Semestre de verano 1913*

TH Berlín. J. Petzoldt. *Raum, Zeit und Bewegung.*

U. Múnich. A. Sommerferld. *Relativitätstheorie.*

— *Semestre de invierno 1913-14*

U. Berlín. M.B. Weinstein. *Das Relativitätsprinzip und die Physik der bewegten Materie.*

U. Gotinga. E. Wiechert. *Höhere Elektrodynamik, dabei Elektronentheorie und Relativitätstheorie.*

Es decir, entre 1906 y 1914, la relatividad especial había sido incluida como materia de estudio, bien en forma de curso, seminario o coloquio, como mínimo en las Universidades de Berlín, Gotinga, Múnich, Würzburg, Graz, Estrasburgo, Kiel, Viena, Breslau, Zürich y Heidelberg, así como en la Escuela Técnica Superior de Berlín. Lo que representaría un mínimo del 30% del total de las universidades del ámbito germanoparlante.

Aunque fuera de los objetivos de este trabajo, y pese a que la recepción de la relatividad especial y la relatividad general (y gravitación) ocurrieron en contextos de recepción completamente diferentes, y la respuesta de la comunidad de físicos en absoluto resultó paralela en ambos casos, —baste recordar en este caso la diferente respuesta de Lorentz o Planck a una y otra teoría—, es plausible la conjetura de que una inmediata incorporación de la relatividad general en la enseñanza universitaria, sólo habría tenido cabida, si previamente la relatividad especial hubiera sido ampliamente aceptada. En cualquier caso

la relatividad general quedó incluida dentro de la universidad de una forma casi inmediata, como resulta patente en los primeros cursos ofrecidos:

— *Semestre de invierno 1915-16*

U. Zúrich. M. Wolfke. *Moderne Gravitationstheorien*.

— *Semestre de verano 1917*

U. Praga. P. Frank. *Theorie der Gravitation*.

— *Semestre de invierno 1917-18*

U. Aquisgrán. Hopf. *Relativitäts- und Gravitationstheorie*.

U. Viena. L. Flamm. *Relativitätstheorie (spezielle und verallgemeinerte)*.

— *Semestre de invierno 1918-19*

U. Aquisgrán. Hopf. *Relativitäts- und Gravitationstheorie*.

U. Basilea. Matthies. *Mathematisch-physikalische Seminar: moderne Gravitationstheorie*.

U. Praga. Frank. *Allgemeinerte Relativitätstheorie*.

Ya como nota final puede decirse que la Universidad de Gotinga ofrecía de forma regular en los años previos a 1922, junto a los cursos básicos de Física, otros de carácter especial, entre los que figuraban la teoría de la relatividad y de la gravitación [UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, 1922, p. 16].

4. Extensión de la relatividad especial. Tesis Doctorales, 1906-1917

Cuando en el segundo apartado se resumían las principales características del sistema académico alemán, nos detuvimos especialmente en el tercer punto, aquel que manifestaba la relación entre enseñanza e investigación, unidad característica del sistema universitario alemán, y cuyos cimientos comenzaron a asentarse a comienzos del siglo precedente. Aquella unidad ha sido certeramente definida por el hecho de *que las dos funciones se encontraban orgánicamente conectadas, de modo tal que su separación habría sido contraria a la naturaleza immanente de la investigación y enseñanza* [BEN-DAVID, 1972, p. 45]. Esta unidad se mantuvo en Alemania hasta finales de los años 30 del presente siglo como un principio que gobernaría toda la educación superior [*Ibid.*, p. 53]. Pese al cambio posterior, producto de la evolución y complejización natural de la Universidad en particular y de la profesionalización

de la ciencia en general, que se produjo en la redefinición de la unidad investigación-enseñanza, provocando que un determinado nivel de investigación no pudiera ser integrado en la enseñanza, las especificidades del sistema alemán a este respecto permanecieron en su núcleo inalterables. Concretamente, y como vimos anteriormente, esta limitación no influyó en la enseñanza de la relatividad especial.

Quizás, la concreción más obvia en la unidad enseñanza-investigación y alumno-profesor se manifiesta en la realización de tesis doctorales. El doctorado en filosofía era concedido por la facultad consistiendo en la realización de un trabajo de investigación original, una vez que el doctorando había cumplido un determinado número de requisitos definidos por cada facultad, y a la espera de que pudiera ser posteriormente publicado por su propio autor [PYENSON 1987, pp. 96-7]. Del mismo modo que en la enseñanza fuera Planck quien en primer lugar se hiciera eco de la teoría de Einstein, y prácticamente de inmediato comenzó una labor de difusión en el aula, nuevamente sería Planck, quien en el apartado de la investigación y extensión de la relatividad, mediante la dirección de tesis doctorales, continuó siendo la principal baza en la rápida expansión de la teoría de Einstein. Entre 1906 y 1917 se realizaron una suma de dieciocho tesis doctorales, total o parcialmente relacionadas con la relatividad especial, de entre las cuales Planck fue tutor principal o suplente en once, a las que habría que añadir además la de K. Hupka, oficialmente dirigida por Rubens [PYENSON 1990, pp. 292-3]. En total, las tesis sobre la relatividad especial escritas entre 1906 y 1917, fueron las siguientes¹⁷:

1.- Kurd von Mosengeil: *Theorie der Stationären Strahlung in einem gleichförmig bewegten Hohlraum*. Universidad de Berlin, (registrada) 30 de julio de 1906. M. Planck.

2.- Walther Meissner: *Zur Theorie des Strahlungsdruckes*. Universidad de Berlin, 9 de marzo de 1907. M. Planck.

3.- Wilhelm Heil: *Zur Theorie der Kaufmannschen Versuche über die elektromagnetische Ablenkung der β -Strahlen*. Universidad de Berlin, 31 de marzo de 1909. M. Planck.

4.- Karl Erich Hupka: *Die träge Masse bewegter Elektronen*. Universidad de Berlin, 9 de octubre 1909. H. Rubens¹⁸.

5.– Kurt Wolz: *Die Bestimmung von e/m_0* . Universidad de Bonn, 22 de diciembre de 1909. Kayser¹⁹.

6.– Karl Th. Lerp: *Untersuchung der Fehlerquellen in den älteren Bestimmungen der spezifischen Ladung des Elektronen*. Universidad de Gotinga, 30 de marzo de 1911. E. Riecke.

7.– August Gehrts: *Reflexion und Sekundärstrahlung Lichtelektrisch angelöster Kathodenstrahlen*. Universidad de Berlin, 30 de marzo de 1911. H. Rubens. M. Planck.

8.– Hans Schneider: *Die Energie der aus glühenden CaO entweichenden Elektronen*. Universidad de Berlin, 28 de septiembre de 1911. Wehnelt. M. Planck.

9.– Ernst Lamla: *Über die Hydrodynamik des Relativitätsprinzips*. Universidad de Berlin, 17 de enero 1912. M. Planck. H. Rubens.

10.– Hermann Bönke: *Zur mathematischen Theorie der Polarlicht-Erscheinungen*. Universidad de Berlin, 17 de enero de 1912. H. Rubens. M. Planck.

11.– Walter Schottky: *Zur relativtheoretischen Energetik und Dynamik*. Universidad de Berlin, 17 de abril de 1912. M. Planck. H. Rubens.

12.– Egon Alberti: *Neubestimmung der spezifischen Ladung lichtelektrisch ausgelöster Elektronen*. Universidad de Berlin, 22 de mayo de 1912. H. Rubens. M. Planck.

13.– Emil Hahn: *Grundlagen zu einer Theorie der Lorentztransformationen*. Universidad de Estrasburgo, 24 de junio de 1912. Wellstein.

14.– Erich Henschke: *Über eine Form des Prinzips der kleinsten Wirkung in der Elektrodynamik des Relativitätsprinzips*. Universidad de Berlin, 5 de diciembre de 1912. M. Planck. H. Rubens.

15.– Günther Neumann: *Die träge Masse schnell bewegter Elektronen*. Universidad de Breslau, 9 de diciembre de 1913. C. Schäffer. O. Lummer. E. Pringsheim.

16.– Johannes Stein: *Beiträge zur Matrizenrechnung mit Anwendung auf die Relativitätstheorie*. Universidad de Tubinga, 24 de julio 1914. von Brill.

17.– Erich Kretschmann: *Eine Theorie der Schwerkraft im Rahmen der ursprünglichen Einsteinschen Relativitätstheorie*. Universidad de Berlin, 20 de mayo de 1914. M. Planck. H. Rubens.

18.– Karl Glitscher: *Spektroskopischer Vergleich zwischen den Theorien des starren und des deformiebaren Elektrons*. Universidad de Múnich, 6 de marzo de 1917. A. Sommerfeld.

Si del conjunto total de tesis²⁰ nos centramos específicamente en algunas de las dirigidas por Planck, como las de Heil, Hupka, Gehrts y Alberti, que tenían como objeto de investigación experimental el aumento de la masa de electrones con velocidad, la de Schottky, un análisis teórico de la dinámica del electrón, o la tesis de Mosengeil, una aplicación de la relatividad a la termodinámica, la de Lamla, una aplicación a la mecánica de fluidos, o la de Kretschmann, un intento de extensión de la relatividad especial a la gravitación, se comprueba entonces que Planck entendía la unidad entre enseñanza e investigación como un medio cardinal para la exploración y apertura de nuevas vías de investigación. Por ello Goldberg [1976, p. 130] puede afirmar que si el gran físico alemán se tomó el trabajo de investigar la relatividad especial, no fue porque estuviera convencido que ésta era correcta, sino porque pensaba que una idea física de tal simplicidad y generalidad merecía ser investigada de diversos modos. De este modo, y junto a sus investigaciones personales, extendió sus intereses y concepciones en este sentido a sus propios doctorandos, potenciando el proceso innovativo en la ciencia.

Así, la predominancia de doctorandos de Planck, independientemente de que sus trabajos fueran teóricos o experimentales, puede comprenderse si se tiene en cuenta la función que Planck adscribía a la enseñanza, y el modo en que ésta debía realizarse. En una conferencia pronunciada el 17 de febrero de 1933, Planck se preguntaba por la procedencia de las ideas científicas [PLANCK, 1933, p. 243]. Ante esta cuestión, su primera reflexión era inmediata. Es imposible conocer y, en consecuencia, analizar, los procesos y motivaciones síquicas que acontecen en cada científico cuando produce una idea. Así, tras ejemplificar mediante algunos de los grandes científicos de la historia de la física como Newton, Maxwell y Hertz la diversidad en que puede producirse la génesis de las ideas científicas, puede asegurarse que existe, sin

embargo, un camino mediante el que, si bien no se puede conocer qué nuevas ideas y de qué modo éstas llegarán a descubrirse, sí puede afirmarse que el progreso de las ideas científicas tendrá lugar; a saber, mediante la enseñanza de las ideas científicas pasadas y presentes [*Ibid.*, p. 248]. Esta acción del proceso de formación y de enseñanza encuentra su labor última y más importante no en procurar o determinar ni los conocimientos ni las capacidades del estudiante, sino en potenciar la práctica de los conocimientos adquiridos [*Ibid.*]. En este sentido, el proceso de formación sigue un camino que comienza en la condición previa de la comunicación de los conocimientos y en la comprensión de éstos, continúa en el desarrollo de la habilidades para poder manejar este nuevo conocimiento y finaliza con la práctica de lo aprendido, posibilitándose así la generación de nuevos conocimientos. Este proceso exige la rápida inclusión de las innovaciones en el sistema de enseñanza universitario, de modo que la génesis de las nuevas ideas sea el último eslabón y consecuencia de una cadena de conocimientos previos madurados. Como resulta manifiesto, estas palabras de Planck, pronunciadas bien avanzado el siglo XX, y las propias acciones de Planck durante los diez primeros años de vida de la relatividad, no son sino el eco de una tradición que había dado comienzo más de un siglo atrás, y que incidiendo en los elementos progresivos e innovativos de la ciencia, descalificaba toda visión tendente a mostrar la ciencia como un saber estático y acabado.

De un modo similar, aunque en absoluto tan pronunciado, Wien estimuló a su alumno Laub en la dirección de aplicar la relatividad a determinados problemas ópticos en medios en movimiento, convirtiéndose rápidamente en uno de los más entusiastas defensores de la teoría de Einstein. Tanto la rápida inclusión de cursos excepcionales sobre relatividad, adscritos a físicos de renombre, pero que conllevaron en poco tiempo su extensión con regularidad a un considerable porcentaje del total de universidades del ámbito académico germano, como la publicación de un amplio número de trabajos de investigación mediante la aplicación y extensión de la relatividad a diferentes áreas de la física, trabajos cuyo origen en algunos casos se encuentra en tesis doctorales, fueron esencialmente un producto de la propia estructura del sistema educativo alemán, del modo de ver la función de la universidad, y finalmente, de una tradición particular de entender y hacer ciencia, que favorecía la rápida difusión de las nuevas teorías.

NOTAS

1 Es importante puntualizar que el sentido de *ciencia* en este apartado es el de *Wissenschaft* alemán, que genéricamente incluye las ciencias naturales (Naturwissenschaften), las humanidades (Geisteswissenschaften) y, con posterioridad, las ciencias sociales (Sozialwissenschaften), y que por lo tanto la caracterización de la unidad entre enseñanza e investigación se dirigía sin distinción a todas ellas, si bien mi interés aquí se enfoca específicamente a las primeras.

2 Por supuesto, el control del Estado había estado presente previamente mediante la selección de los puestos docentes. Por otro lado, la posibilidad que los estudiantes tenían de elegir libremente los cursos les hacía optar principalmente por aquellos cursos que les daban una adecuada preparación para superar los exámenes que el Estado establecía y que eran la única posibilidad de ejercer como profesionales. Así, la influencia del Estado, siendo decisiva, no siempre era visible. Véase BEN-DAVID - ZLOCZOWER, A. [1962, p. 58] y BEN-DAVID [1972, p. 47].

3 El énfasis en el aprendizaje de la ciencia a través de su práctica, no sólo se redujo al ámbito universitario, sino que con posterioridad se trasladó a la enseñanza escolar. Véase, por ejemplo, la obra del gran pedagogo alemán Georg Kerschensteiner (1864-1932) publicada en 1914, KERSCHENSTEINER [1959, esp. cap. 2].

4 Acerca de la diferenciación e integración de la física como disciplina académica en las universidades alemanas, véanse las obras de STICHWEH [1984, cap. 5] y [1994, pp. 132-155].

5 Véase el estudio de CAHAN [1985].

6 Esta cuestión ha sido estudiada por PYENSON en [1990, esp. pp. 270-78].

7 La principal referencia en este aspecto sigue siendo GOLDBERG [1976]. Véase, también, PYENSON [1990, pp. 291-93].

8 Laue se refiere a este hecho en su autobiografía [1961, xix], "Als ich 1905 nach Berlin zurückkehrte, hörte ich in einem der ersten physikalischen Kolloquien des Wintersemesters –oder war es das allererste?– Plancks Referat über die im September erschienene Arbeit Einsteins: Zur Elektrodynamik bewegter Körper". Citado también en GOLDBERG [1976, p. 126], PAIS [1982, p. 150] y en los *Collected Papers of Albert Einstein* (CPAE, a partir de ahora) [CPAE 2, p. 266 n74; CPAE 5, p. 42 n10].

Además de en los *Verzeichnisse der Vorlesungen* (Programas de cursos) publicados anualmente por cada Universidad, la relación de cursos ofrecidos en las Universidades del ámbito germanoparlante era publicada en la *Physikalische Zeitschrift* siendo utilizada como fuente en las páginas siguientes. La relación incluía también las universidades de Viena, Graz, Berna, Zúrich, Praga, Innsbruck y, por supuesto, las pertenecientes al Imperio Alemán hasta 1914 (algunas hasta 1937), como Estrasburgo, Breslau, Königsberg, Danzig, y la Universidad Alemana de Chernowitz.

9 SÁNCHEZ RON [1987, p. 49] y PYENSON [1987, p. 77]. Esta última referencia contiene una errata ya que el libro de Silberstein es fechado en 1912, en lugar de en 1914.

10 Carta de Minkowski a Einstein, 9 de octubre de 1907, recogida en [CPAE 5, doc. 62, p. 77]. El *seminario*, una invención de la Universidad alemana anticipada ya por el filósofo idealista Friedrich D. E. Schleiermacher (1768-1834) a comienzos del siglo XIX, es el más claro intento de concretar la unidad entre enseñanza e investigación, y de interacción entre el profesor y el alumno, ya que en él se primaba sobre todo el carácter práctico de la enseñanza y la realización de trabajos de investigación. Véase STICHWEH [1994, pp. 145-49]. De modo similar, el *coloquio* tenía como objeto reunir un día a la semana a los físicos y estudiantes avanzados de la universidad con la finalidad de presentar y discutir la literatura recién publicada. En *Ibid.* [p. 150]. Tanto el seminario como el coloquio se mantienen en la actualidad.

11 [CPAE 5, p. 77] y PYENSON [1990, pp. 127s].

12 Véase PYENSON [1990, pp. 124-131]. En relación a Minkowski ha de señalarse el creciente interés que su formulación cuadrimensional de 1908, y su famosa conferencia pronunciada en la reunión de científicos en septiembre de 1908 realizada en Colonia bajo el título de *Espacio y tiempo*, provocó hacia la relatividad especial, cuestión señalada, entre otros, por HIROSIGE [1976, pp. 78-9] y SÁNCHEZ RON [1987, pp. 53-4]. Acerca de la formulación de Minkowski existe una abundante literatura cuyas principales referencias pueden encontrarse en CORRY, L. (1997) "Hermann Minkowski and the postulate of relativity". *Isis* 51, 273-314.

13 En una carta a Lorentz fechada el 26 de diciembre de 1907, Sommerfeld le había indicado que el trabajo de Einstein contenía un enfermizo dogmatismo y respondía al modo abstracto-conceptual de los semitas [CPAE 5, pp. 88-89n].

14 Cohn había elaborado en 1900-04 una teoría electrodinámica sobre la base de las teorías de Hertz y Lorentz, que fue criticada por Lorentz, Wien y Abraham. Véase, por ejemplo, MILLER [1981, pp. 181-82]. Miller mantiene que Cohn hacia 1913 ya había aceptado la relatividad debido a las críticas favorables que el propio Einstein emitió acerca de una obra en dos volúmenes publicada en ese año por el primero, titulada *Physikalisches über Raum und Zeit*. Esta fecha, sin embargo, se retrotrae por lo menos hasta 1910, ya que entonces Cohn publicó un artículo bajo el mismo título en el que favorecía la relatividad especial. En consecuencia, parece plausible que el curso de Cohn de 1910 ya tuviera como referencia la teoría de Einstein.

15 La postura de Wiechert, Profesor de geofísica en la Facultad de Físicas de Gotinga, la cual no se mostró en general favorable a la relatividad de Einstein, era una reinterpretación de la teoría en el marco de un espacio absoluto. Véase al respecto, PYENSON [1990, p. 312] y MILLER [1981, p. 260-61].

16 Se incluye a Joseph Petzoldt, filósofo positivista (machiano), a pesar de no ser profesor de física, ni de matemáticas, pero ejercer como docente en la Escuela Superior Técnica de Berlín.

17 La siguiente relación ha sido obtenida de los *Jahresverzeichnis der an den deutschen Universitäten und Technischen Hochschulen erschienenen Schriften* entre 1906 y 1923. Las fechas se corresponden con la de defensa, a excepción de la primera de K. von Mosengeil cuya prematura muerte hizo que Planck editara y corrigiera con posterioridad el texto para publicarlo en los *Annalen*. Véase GOLDBERG [1976, p. 133, n34]. Las tesis se indican mediante autor, título, Universidad en que fue

realizada, fecha de la defensa y tutor principal (y en su caso, tutor o tutores suplentes). He reducido el número de tesis dirigidas por Planck que señala Pyenson en [1990, pp. 291-92], ya que de las doce que enumera entre 1906 y 1914, la de Witte, fue anterior a la publicación del artículo de Einstein y la de Körner se fundamentaba en la teoría de Walter Ritz de 1908.

18 Considero oportuno citar el siguiente párrafo de Pyenson, que resulta ilustrativo del carácter de Planck como científico: “Al publicar su tesis en forma monográfica, Hupka se encontró a sí mismo en el centro de una violenta controversia con Wilhelm Heil, que acababa de terminar una tesis dirigida por Planck [...] Planck tuvo a los dos candidatos a doctor trabajando sin saber el uno del otro. Según una carta que Planck escribió a Wilhelm Wien, Heil desconocía el trabajo de Hupka cuando terminó el suyo. Heil redactó una dura crítica de la tesis de Hupka y la envió a Planck para que la publicara en los *Annalen*. Planck, naturalmente, se dio cuenta de que el tema de Heil era «muy importante», pero instó a Heil a moderar su lenguaje. Planck informó a Hupka de la inminente publicación. Colaboró con ambos investigadores para eliminar las observaciones personales de sus artículos posicionales” [PYENSON, 1990, p. 293].

19 La Tesis doctoral de Wolz, aunque oficialmente dirigida por Kayser, y más tarde publicada en los *Annalen*, cita ya al comienzo al físico experimental y profesor en Bonn, Hermann Bucherer, como el inspirador del trabajo: “[...] so habe ich mich auf seine [de Bucherer] Veranlassung der Aufgabe unterzogen [...]”. En Wolz [1909, pp. 273-74]. Véase la referencia completa en la nota siguiente.

20 Aparte de los ejemplares originales de tesis, pueden encontrarse las siguientes, total o parcialmente, publicadas: MOSENIGEL, K. v. (1907) “Theorie der Stationären Strahlung in einem gleichförmig bewegten Hohlraum. (Gekürzter und mit einer Korrektur von M. Planck versehener Abdruck)”. *Ann. Phys.* 22, 867-904. HEIL, W. (1910) “Diskussion der Versuche über die träge Masse bewegter Elektronen”. *Ann. Phys.* 31, 519-46. HUPKA, E. (1910) “Beitrag zur Kenntnis der trägen Masse bewegter Elektronen”. *Ann. Phys.* 31, 169-204. WOLZ, K. (1910) “Die Bestimmung von e/m_0 ”. *Ann. Phys.* 30, 273-288. LERP, K.Th. (1911) “Untersuchung der Fehlerquellen in den älteren Bestimmungen der spezifischen Ladung des Elektronen”. *Nova Acta Leopoldina. Abhand. der Kaiserlichen Leopoldinisch-Carolinische Deutsche Akad. der Naturforscher* 95, 1-52. LAMLA, E. (1912) “Über die Hydrodynamik des Relativitätsprinzips”. *Annalen de Phys.* 37, 772-96. SCHOTTKY, W. (1912) *Zur relativtheoretischen Energetik und Dynamik*. Thomas & Hubert. Weida i. Thür. ALBERTI, E. (1912) “Neubestimmung der spezifischen Ladung lichtelektrisch ausgelöster Elektronen”. *Ann. Phys.* 39, 1133-1164. HAHN, E. (1913) “Grundlagen zu einer Theorie der Lorentztransformationen”. *Archiv der Mathematik und Physik* 21, 1-42. HENTSCHE, E. (1913) “Über eine Form des Prinzips der kleinsten Wirkung in der Elektrodynamik des Relativitätsprinzips. [Secciones 2ª y 3ª de la tesis original]”. *Ann. Phys.* 40, 887-934. NEUMANN, G. (1914) “Die träge Masse schnell bewegter Elektronen”. *Ann. Phys.* 45, 529-579. GLITSCHER, K. (1917) “Spektroskopischer Vergleich zwischen den Theorien des starren und des deformierbaren Elektrons”. *Ann. Phys.* 52, 608-630. Finalmente, KRETSCHMANN, E. (1915) “Ueber die prinzipielle Bestimmbarkeit der berechtigten Bezugssysteme beliebiger Relativitätstheorie I, II”.

Ann. Phys. 48, 907-42, 943-82, es una considerable ampliación de la tesis original, conteniendo una sección final dedicada a la relatividad general ya publicada por Einstein.

BIBLIOGRAFÍA

BEN-DAVID, J. (1972) «Science and the university system». *International Review of Education* 18, 44-60.

BEN-DAVID, J. - ZLOCZOWER, A. (1962) «Universities and academic systems in modern societies». *Archives Européennes de Sociologie* 3, 45-84.

BONNER, T.N. (1963) *American Doctors and German Universities*. University of Nebraska Press. Lincoln.

CAHAN, D. (1985) «The institutional revolution in German physics, 1865-1914». *Historical Studies in the Physical Sciences* 15, 1-65.

COHN, E. (1910) «Physikalisches über Raum und Zeit». *Himmel und Erde* 23, 117-36.

EINSTEIN, A. (1905) «Zur Elektrodynamik bewegter Körper». *Ann. Phys. (Ser. 4)* 17, 891-921.

EINSTEIN, A. (1913) «Max Planck als Forscher». *Naturwissenschaften* 1, 1077-1079.

The Collected Papers of Albert Einstein. (CPAE),

EINSTEIN, A. (1989) *The swiss years: writings, 1900-1909*. CPAE Vol. 2. Ed. John Stachel. Princeton University Press.

EINSTEIN, A. (1993), *The swiss years: correspondence, 1902-1914*. CPAE Vol. 5. Eds. M.J. Klein, A.J. Kox, R. Schulmann. Princeton University Press.

GLICK, TH.E. (Ed.) (1987) *The comparative reception of relativity*. D. Reidel. Dordrecht.

GOLDBERG, S. (1976) «Max Planck's philosophy of nature and his elaboration of the special theory of relativity». *Historical Studies in the Physical Sciences* 7, 125-160.

GOLDBERG, S. (1987) «Putting new wine in old bottles: The assimilation of relativity in America». En *Glick (Ed.) 1987*, 1-26.

HIROSIGE, T. (1976) «The ether problem, the mechanistic worldview, and the origins of the theory of relativity». *Historical Studies in the Physical Sciences* 7, 3-82.

JARAUSCH, K.H. (Ed.) (1983) *The transformation of higher learning, 1860-1930. Expansion, diversification, social opening and professionalization in England, Germany, Russia and the United States*. Klett-Cotta. Stuttgart.

JUNGNICKEL, CH. - McCORMMACH, R. (1986) *Intellectual mastery of Nature. Theoretical physics from Ohm to Einstein. Vol 2, The now mighty theoretical physics 1870-1925*. The University of Chicago Press. Chicago.

KERSCHENSTEINER, G. (1959⁵), *Wesen und Wert des naturwissenschaftlichen Unterrichts*. R. Oldenburg Verlag. Múnich. Edición original, 1914.

LAUE, M. von (1961) «Mein physikalischer Werdegang. Eine

Selbstdarstellung». En M. von Laue: 1961, *Gesammelte Schriften und Vorträge*, vol. 3, v-xxxiv. F. Vieweg & Sohn. Braunschweig.

MCCORMMACH, R. (1970) «H.A. Lorentz and the electromagnetic view of nature». *Isis* 61, 459-497.

MILLER, A.I. (1981) *Albert Einstein's special theory of relativity. Emergence (1905) and early interpretation (1905-1911)*. Addison-Wesley Publishing Co., Inc. Reading, Mass.

MINKOWSKI, H. (1915) «Das Relativitätsprinzip». *Ann. Phys. (Ser. 4)* 47, 927-38. Conferencia pronunciada el 5 de noviembre de 1907 ante la *Mathematische Gesellschaft* en Gotinga.

MINKOWSKI, H. (1909) «Raum und Zeit». *Phys. Z.* 10, 104-11. Conferencia pronunciada el 21 de septiembre de 1908 durante la 80. *Naturforscherversammlung* celebrada en Colonia.

PAIS, A. (1982) *'Subtle is the Lord...' The science and the life of Albert Einstein*. Oxford University Press. Oxford.

PATY, M. (1987) «The scientific reception of relativity in France». En *Glick (Ed.) 1987*, 113-167.

PLANCK, M. (1933) «Ursprung und Auswirkung wissenschaftlicher Ideen». Conferencia recogida en Planck (1944) *Wege zur physikalischen Erkenntnis. Reden und Vorträge von Max Planck*, pp. 242-257. Verlag von S. Hirzel. Leipzig. Edición original, 1933.

PYENSON, L. (1987) «The relativity revolution in Germany». En *Glick (Ed.) 1987*, 59-111.

PYENSON, L. (1990) *El joven Einstein. El advenimiento de la relatividad*, trad. Rosa Alvarez Ulloa. Alianza. Madrid. Publ. orig. como 1985, *The young Einstein. The advent of relativity*. Adam Hilger. Bristol.

PYENSON, L. - SKOOP, D. (1977) «Educating physicists in Germany circa 1900». *Social Studies in Science* 7, 329-66.

RINGER, F.K. (1995) *El ocaso de los mandarines alemanes. La comunidad académica alemana, 1890-1933*, trad. J.M.Pomares. Ediciones Corredor-Pomares. Barcelona. Publ. orig. como 1969, *The decline of german mandarines. The german academic community, 1890-1933*. Harvard University Press. Cambridge. Mass.

SÁNCHEZ RON, J.M. (1987) «The reception of special relativity in Great Britain». En *Glick (Ed.) 1987*, 27-58.

STICHWEH, R. (1984) *Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen. Physik in Deutschland 1740-1890*. Suhrkamp Verlag. Frankfurt a/M.

STICHWEH, R. (1994) *Wissenschaft, Universität, Professionen. Soziologische Analysen*. Suhrkamp Verlag. Frankfurt a/M.

UNIVERSITÄT GÖTTINGEN. MATEMATISCH-PHYSIKALISCHES SEMINAR (1922) *Studienpläne und Ratgeber für das Studium der Mathematik und Physik unter besonderer Berücksichtigung der Göttinger Verhältnisse*. Verlag von Max Niemeyer. Halle.

UNIVERSITÄTEN UND TECHNISCHE HOCHSCHULEN (1906-1923, anual), *Jahresverzeichnis der an den deutschen Universitäten und Technischen Hochschulen erschienenen Schriften*. Verlag von Behrend & Co. Berlin.

WILLER, J. (1990) *Physik und menschliche Bildung. Eine Geschichte der Physik und ihres Unterrichts*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt.