

Hanoch Gutfreund y Jürgen Renn El camino hacia la relatividad

El artículo de Einstein que cambió la ciencia

INCLUYE EL FACSIMIL Y LA TRADUCCIÓN DE
EL FUNDAMENTO DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL,
LA OBRA MAESTRA DE ALBERT EINSTEIN



TUSQUETS
EDITORES

EL CAMINO HACIA LA RELATIVIDAD

El artículo de Einstein que cambió la ciencia

HANOCH GUTFREUND
JÜRGEN RENN

Traducción de Alfonso García-Parrado Gómez-Lobo

EL FUNDAMENTO DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL

EL PRINCIPIO DE HAMILTON Y LA TEORÍA
DE LA RELATIVIDAD GENERAL

ALBERT EINSTEIN

Traducción de Ambrosio García Leal

TUSQUETS
EDITORES

Título original: *The Road to Relativity. The History and Meaning of Einstein's
«The Foundation of General Relativity».*

1.^a edición: septiembre de 2017

© 2015 by Princeton University Press and The Hebrew University of Jerusalem.
Publicado por acuerdo con International Editors Co. y Princeton University Press.
Todos los derechos reservados

© de la traducción: Alfonso García-Parrado Gómez-Lobo, 2017
© de la traducción de «El fundamento de la teoría de la relatividad general» y «El principio de
Hamilton y la teoría de la relatividad general», de Albert Einstein: Ambrosio García Leal, 2017
Reservados todos los derechos de esta edición para
Tusquets Editores, S.A. – Avda. Diagonal, 662-664 – 08034 Barcelona
www.tusquetseditores.com
ISBN: 978-84-9066-434-6
Depósito legal: B. 14.065-2017
Fotocomposición: David Pablo
Impresión y encuadernación: Liberdúplex, S.L.
Impreso en España

Queda rigurosamente prohibida cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación
pública o transformación total o parcial de esta obra sin el permiso escrito de los titulares de
los derechos de explotación.

ÍNDICE

Una breve observación sobre la publicación de esta obra xiii
por MENACHEM BEN-SASSON y MARTIN STRATMANN

Prólogo xv
por JOHN STACHEL

Prefacio xix

EL ENCANTO DE UN MANUSCRITO 1

HACIA LA RELATIVIDAD GENERAL. LA ODISEA INTELECTUAL DE EINSTEIN 7

EL MANUSCRITO ANOTADO 37

Los títulos en cursiva reproducen los títulos originales de los epígrafes en el manuscrito de Einstein.
Los números de página entre corchetes hacen referencia a la paginación original del manuscrito de Einstein.

El fundamento de la teoría de la relatividad general

A. *Consideraciones fundamentales acerca del postulado de la relatividad*

§1. *Observaciones sobre la teoría de la relatividad especial*

Pág. [1]: ¿Por qué fue Einstein más allá de la relatividad especial? 39

Pág. [2]: ¿Qué era incorrecto en las nociones clásicas de espacio y tiempo? 41

§2. *La necesidad de una generalización del postulado de la relatividad*

Pág. [3]: ¿Por qué se percató Einstein de dificultades que otros ignoraron? 43

Pág. [4]: ¿Cuál fue la idea más feliz de Einstein y cómo llegó a ella? 45

§3. *El continuo espaciotemporal. Necesidad de covariancia general para que las ecuaciones expresen leyes generales de la naturaleza*

Pág. [5]: ¿Por qué la teoría de Einstein de la gravitación requiere una geometría no euclidiana? 47

Pág. [6]: ¿Cuál es el papel de las coordenadas en la nueva teoría de la gravitación? 49

Pág. [7]: ¿Cuál es el significado de la covariancia general? 51

§4. *La relación de las cuatro coordenadas con la medida en el espacio y el tiempo*

Pág. [8]: ¿Qué es la geometría del espaciotiempo? 53

Pág. [9]: ¿Cuándo se percató Einstein de que la gravedad tiene que describirse mediante una expresión matemática compleja?	55
<i>B. Herramientas matemáticas para la formulación de ecuaciones generalmente covariantes</i>	
§5. Cuadrivectores contravariantes y covariantes	
Pág. [10]: ¿Por qué tenemos que distinguir entre tensores, vectores y escalares?	57
Pág. [11]: ¿Cuándo llega Einstein a la conclusión de que necesita métodos matemáticos más complejos?	59
§6. Tensores de rango dos y superior	
Pág. [12]: ¿Qué se puede aprender de la teoría del electromagnetismo?	61
§7. Multiplicación de tensores	
Pág. [13]: ¿Cómo se obtienen nuevos tensores a partir de otros preexistentes mediante operaciones tensoriales?	63
Pág. [13]: ¿Qué pautas de razonamiento heurístico siguió Einstein en su búsqueda de una teoría relativista de la gravitación?	63
Pág. [14]: ¿Cuál fue la estrategia de Einstein para construir una ecuación de campo para la gravitación?	65
§8. Algunos aspectos del tensor fundamental $g_{\mu\nu}$	
Pág. [15]: ¿Por qué es tan fundamental el tensor métrico?	67
Pág. [16]: ¿Por qué el cuaderno de Zúrich es un documento único en la historia de la física?	69
Pág. [16]: ¿Cómo se miden los volúmenes en un espaciotiempo curvo?	69
Pág. [17]: ¿Cómo puede una elección adecuada de coordenadas simplificar la teoría?	71
Pág. [17]: ¿Cuál es la diferencia entre una «condición coordenada» y una «restricción coordenada»?	71
§9. La ecuación de la línea geodésica. El movimiento de una partícula	
Pág. [18]: ¿Cuál es el significado del concepto de «línea recta» en un espacio curvo? ¿Cómo se mueve una partícula bajo la influencia de la gravedad?	73
Pág. [19]: ¿Cuál es el significado físico y geométrico de los «símbolos de Christoffel»?	75
Pág. [19]: ¿Cuál fue el «funesto prejuicio» de Einstein en su primera identificación de las componentes del campo gravitatorio?	75
§10. La formación de tensores por diferenciación	
Pág. [20]: La geodésica vista como la línea con la mayor «rectitud posible» y su relación con el concepto de «conexión afín»	77
Pág. [21]: ¿Cómo cambian los tensores al pasar de un punto a otro o cómo obtener nuevos tensores a partir de otros mediante diferenciación?	79
Pág. [22]: ¿Cuál es el contexto geométrico de la formulación matemática de Einstein de la relatividad general?	81
§11. Algunos casos de especial relevancia	
Pág. [23]: La Teoría Entwurf como un paso intermedio hacia la teoría de la relatividad general	83
Pág. [24]: ¿Qué es la divergencia de un campo vectorial? ¿Cuáles son los otros conceptos de campo vectorial?	85

- Pág. [25]: ¿Cuál es la formulación matemática de la conservación de energía-momento en relatividad general? 87
- §12. *El tensor de Riemann-Christoffel*
- Pág. [26]: ¿Cuál es el significado geométrico del tensor de Riemann-Christoffel? 89
- Pág. [27]: ¿Qué era el «supuesto tensor gravitatorio» y por qué fue abandonado? 91
- C. *La teoría del campo gravitatorio*
- §13. *Ecuaciones del movimiento de un punto material en el campo gravitatorio. Expresión para las componentes del campo gravitatorio*
- Pág. [28]: ¿Cuándo dejó de creer Einstein en la Teoría *Entwurf*? 93
- Pág. [28]: ¿Cómo se mueve una partícula en un campo gravitatorio? 93
- §14. *Ecuaciones del campo gravitatorio en ausencia de materia*
- Pág. [29]: ¿Cuál fue el mayor desafío de Einstein? 95
- §15. *La función hamiltoniana para el campo gravitatorio. Leyes del momento y de la energía*
- Pág. [30]: ¿Qué es el formalismo lagrangiano y cuál fue su papel en la génesis de la relatividad general? 97
- Pág. [31]: ¿Qué sucede con el principio de conservación de la energía-momento en ausencia de materia? ¿Puede el campo gravitatorio actuar como fuente de sí mismo? 99
- Pág. [31]: ¿Quién era el principal competidor de Einstein? 99
- Pág. [32]: ¿Cómo se puede generalizar la ecuación de campo sin materia para que incluya materia? 101
- §16. *La forma general de las ecuaciones del campo gravitatorio*
- Pág. [33]: ¡Por fin, la ecuación del campo gravitatorio! 103
- §17. *Las leyes de conservación en el caso general*
- Pág. [34]: ¿Cómo se satisface el principio de conservación en una manera no imaginada por Einstein en las etapas iniciales del desarrollo de su teoría? 105
- §18. *Las leyes del momento y de la energía para la materia como consecuencia de las ecuaciones de campo*
- Pág. [35]: ¿Es posible obtener las leyes físicas de conservación a partir de simetrías de la naturaleza? 107
- D. *Fenómenos materiales*
- §19. *Ecuaciones de Euler para un fluido adiabático sin fricción*
- Pág. [36]: ¿Cómo encajan las teorías físicas establecidas, como la hidrodinámica y el electromagnetismo, en la nueva teoría de la gravitación? 109
- §20. *Ecuaciones del campo electromagnético de Maxwell para el espacio vacío*
- Pág. [37]: ¿Qué ecuaciones matemáticas utilizó Maxwell para describir las leyes del electromagnetismo y cómo afecta la gravitación a estas ecuaciones? 111
- Pág. [38]: ¿Cuál era el papel del «éter» en la física prerrelativista y por qué en un determinado momento Einstein pensó que el espacio sin éter es inconcebible? 113
- Pág. [39]: ¿Cuál fue el papel crucial que desempeñó Von Laue? 115

E.

§21. *La teoría de Newton como primera aproximación*

Pág. [40]: ¿Cómo se comprueba experimentalmente la validez de la teoría? 117

Pág. [40a]: ¿Qué pretendía aclarar y subrayar Einstein a posteriori? 119

Pág. [41]: ¿Qué forma adopta el tensor métrico en la aproximación newtoniana? 121

Pág. [41]: ¿Cuál fue la grata sorpresa que recibió Einstein? 121

Pág. [42]: ¿Cómo podían los astrónomos ayudar a confirmar ciertas predicciones de la teoría? 123

§22. *Comportamiento de varillas y relojes en el campo gravitatorio estático.*

Curvatura de los rayos de luz. El avance del perihelio de una órbita planetaria

Pág. [43]: ¿Cómo se miden las longitudes de las varillas y el ritmo de los relojes en un campo gravitatorio? 125

Pág. [43]: ¿Existe una alternativa viable a la teoría de la relatividad general? 125

Pág. [44]: ¿Qué observación hizo a Einstein mundialmente famoso? 127

Pág. [45]: Explicación del avance del perihelio de Mercurio: de la decepción al triunfo 129

Apéndice: formulación de la teoría a partir de un principio variacional

§1. *Las ecuaciones de campo de la gravitación y la materia*

Pág. [A1]: ¿Por qué decidió Einstein no incluir este «Apéndice» en la versión impresa del manuscrito «El fundamento de la teoría de la relatividad general»? 131

Pág. [A1]: Einstein utiliza una formulación hamiltoniana (lagrangiana) diferente de la de Hilbert y también diferente de la suya propia anterior 131

Pág. [A2]: ¿Por qué finalmente Einstein decidió publicar una versión modificada de este «Apéndice»? ¿Qué papel desempeñaron Lorentz y Hilbert? 133

§2. *Consecuencias formales de la imposición de la covariancia general*

Pág. [A3]: ¿Se satisface el principio de conservación sin restricciones? 135

§3. *Propiedades de la función G de Hamilton*

Pág. [A3]: 1916: un año de trabajo intenso y de nuevos comienzos 135

Pág. [A4]: Einstein y su papel de misionero de la ciencia 137

Pág. [A5]: La creatividad científica en medio de las tribulaciones personales y del desastre nacional 139

NOTAS A LAS PÁGINAS COMENTADAS 141

EPÍLOGO: EL DRAMA CONTINÚA . . . 149

Cronología de la génesis de la relatividad general y de sus años de gestación 159

Físicos, matemáticos y filósofos relevantes para el pensamiento de Einstein 165

Lecturas complementarias 179

Traducción de «El fundamento de la teoría de la relatividad general» 183

Traducción de «El principio de Hamilton y la teoría de la relatividad general» 227

Índice onomástico y analítico 233

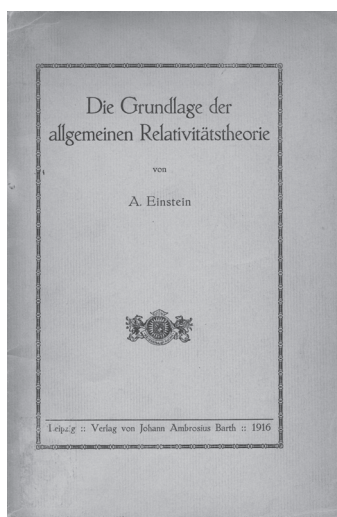
EL ENCANTO DE UN MANUSCRITO

LOS MANUSCRITOS DE DOCUMENTOS IMPORTANTES PARA LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD y la correspondencia de personalidades relevantes están disponibles en un formato impreso fácilmente accesible. No obstante, los escritos originales mantienen su encanto, y provocan el interés y una atracción estética. Se encuentran en exposiciones y los coleccionistas los compran en subastas públicas. Tales documentos originales nos proporcionan un sentido de familiaridad con el autor y nos permiten echar una mirada al proceso que posibilitó su trabajo. La diferencia entre un manuscrito original y una copia impresa es parecida a la diferencia entre una obra de arte original y su reproducción, como escribió Walter Benjamin en su libro *La obra de arte en la época de su reproductibilidad técnica*. En él escribe: «Incluso la reproducción más perfecta de una obra de arte carece de un elemento: su presencia en el espacio y el tiempo, su existencia única en el lugar donde sucede».¹

En las etapas iniciales de su trayectoria profesional, Einstein no prestó atención a este aspecto de su trabajo escrito y normalmente se deshacía de los manuscritos originales tan pronto como sus artículos eran publicados en formato impreso. Por consiguiente, no disponemos de ningún manuscrito original de sus artículos de 1905 (su «año milagroso»). Sin embargo, existe una versión manuscrita de su artículo de 1905 sobre la teoría especial de la relatividad titulado «Zur Elektrodynamik bewegter Körper» [Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento].² El propio Einstein escribió a mano esta versión en 1944 para contribuir al esfuerzo de guerra. Tras ser subastado consiguió recaudar 6,5 millones de dólares. En la actualidad se conserva en la Biblioteca del Congreso de Estados Unidos.

El artículo científico manuscrito de Einstein más antiguo que se posee es un *review** de setenta páginas acerca de la teoría especial de la relatividad. Se escribió por encargo del editor del *Handbuch der Radiologie* [Manual de Radiología] que publicaba volúmenes anuales de *reviews* sobre los avances en diversos campos científicos. Debido a retrasos en la publicación y al estallido de la primera guerra mundial, este artículo nunca llegó a publicarse. El manuscrito quedó en poder de la editorial y en 1995 salió a subasta en Sotheby's (Nueva York). El banquero Edmon Safra compró el manuscrito y lo donó al Museo de Israel en Jerusalén, en un gesto hacia su ilustre alcalde Theodor «Teddy» Kollek. El museo enmarcó y colgó en la pared cada página, como si se tratase de una obra de arte, lo que atrajo a una cantidad de público significativa.³ Aunque la mayoría de los visitantes no comprendían el contenido, el idioma y/o la letra de las páginas manuscritas,

* Artículo donde un autor hace un estudio actualizado de los conocimientos en un campo de investigación, recopilando el trabajo que han hecho otros autores con la aportación de las referencias correspondientes. Generalmente se trata de estudios pormenorizados que dan lugar a artículos largos. (N. del T.)



Biblioteca MPIWG
(Max-Planck-Institut für
Wissenschaftsgeschichte).

quedaron admirados y fascinados por la exposición. Éste es el efecto que tales manuscritos producen.

El manuscrito que reproducimos en estas páginas señala la conclusión de la odisea intelectual de Einstein que culminó en su teoría de la relatividad general.⁴ Aproximadamente dos meses después de la presentación de su teoría ante la Real Academia Prusiana de las Ciencias, Einstein escribió a Lorentz: «Mi serie de artículos sobre gravitación se puede ver como un conjunto de vías equivocadas encadenadas que no obstante se acercaron cada vez más a los objetivos. Por eso las fórmulas básicas están bien pero su deducción es pésima; aún hay que corregir este defecto».⁵ Sin haber eliminado lo que para él era una complicación evitable, el 19 de marzo de 1916 Einstein envió el artículo para su publicación a Wilhelm Wien, el editor de *Annalen der Physik*, la revista de física más importante de la época. En la carta al editor, Einstein le informaba de que había acordado con la editorial una publicación adicional del artículo como una separata. El artículo, titulado «El fundamento de la relatividad general», se publicó el 11 de mayo en *Annalen der Physik* y también como separata.

El manuscrito de la relatividad general forma hoy parte de los Archivos Albert Einstein en la Universidad Hebrea de Jerusalén. Cómo acabó allí es una historia complicada cuyos detalles no son del todo conocidos. Al parecer, Einstein entregó el manuscrito a un amigo suyo, el astrofísico Erwin Freundlich, con el que mantenía un debate abierto sobre posibles observaciones experimentales de fenómenos predichos por la nueva teoría relativista de la gravitación. En 1920 Freundlich fue uno de los fundadores del Einstein Donation Fund, organismo que apoyaba la construcción de la Torre de Einstein en Potsdam y cuya finalidad era la realización de las observaciones mencionadas. Se desconoce cuándo y por qué Einstein dio el manuscrito a Freundlich. La naturaleza de este «regalo» se convirtió en objeto de disputa entre ellos y hacia finales de 1921 la relación entre los dos colegas y amigos se había deteriorado. Einstein presentó su dimisión como miembro del patronato y exigió a Freundlich la devolución del manuscrito. En una dura carta a Freundlich escribió:



Erich Mendelsohn: bocetos para el diseño de la Torre de Einstein, 1918. bpk / Kunstbibliothek, Staatliche Museen zu Berlin.

En lo que respecta a mi manuscrito, te rogaría que me lo devolvieses inmediatamente y sin perder más tiempo con palabrerías. Ya te había pedido que me lo devolvieses en verano y me habías prometido por escrito enviármelo nada más regresar de tu periplo estival. Dado que esto no fue lo que sucedió, mi mujer te escribió una carta sobre el asunto que quedó sin respuesta. Ahora dices que yo en algún momento te cedí el manuscrito, lo cual no se corresponde en absoluto con la realidad. Por si esto fuera poco, has hecho gestiones a mis espaldas para vender el manuscrito en el extranjero, como tú mismo me dijiste. Espero que cumplas con tu deber sin que tenga que volver a llamarte otra vez la atención.⁶

Einstein reiteró la historia del manuscrito en una carta a Arnold Berliner,⁷ editor de la revista *Naturwissenschaften*, que intentó mediar en la disputa. Einstein concluyó: «Debido a su conducta, no deseo volver a tener ningún trato con Freundlich. Ya no se trata del manuscrito, se trata de la persona, en la que he dejado de confiar». El borrador de la carta manuscrita contiene una frase que Einstein tachó: «*Auf das Manuscript verzichte ich hiermit: mit Freude daran*» [Renuncio al manuscrito, y me alegro de ello].

Freundlich devolvió el manuscrito y en abril de 1922 Einstein encargó su venta al industrial y filósofo de la ciencia Paul Oppenheim, al cual le dejó las siguientes instrucciones: «La Universidad Hebrea de Jerusalén recibirá la mitad de los beneficios y de la otra mitad puedes disponer como te dicte tu conciencia».⁸ Por tanto Einstein dejó al arbitrio de Oppenheim la decisión sobre la pretensión de Freundlich relativa a la propiedad del manuscrito, aunque en una posdata se mostró convencido de que Freundlich no tenía ningún derecho y que su actuación había sido deshonesto. Oppenheim era amigo de ambos contendientes y no quería hacer de juez entre ellos, muy al contrario, deseaba restablecer la amistad del pasado.

En julio de 1923, Einstein tomó otra determinación y pidió a Heinrich Loewe, miembro destacado de la Dirección de Cursos de Admisión de la Universidad Hebrea y de la Biblioteca Nacional Judía de Jerusalén, que vendiese el manuscrito. En esta ocasión,

las instrucciones para la distribución de los beneficios eran muy específicas. Debían ser repartidos a partes iguales entre la biblioteca de Jerusalén, el Patronato Albert Einstein, un fondo de pensiones destinado a la señora Freundlich y el propio Einstein, que donaría su parte a obras benéficas. Estas instrucciones fueron confirmadas en una carta de Loewe a Einstein.⁹

El manuscrito no fue vendido y su destino se revela en la correspondencia entre Einstein y su mujer Elsa, cuando el primero pasó dos meses de 1925 en Sudamérica. Sólo se conservan las cartas de Einstein, por lo que se desconoce qué fue lo que Elsa le escribió. En abril de 1925, en una postdata, Einstein indica: «No des el manuscrito a nadie, mi querida Elsa. [...] El tiempo no es ahora propicio para venderlo, es mejor después de mi muerte».¹⁰ Einstein desconocía que el 19 de marzo, Leo Kohn, actuando en nombre de la junta directiva de la Universidad de Jerusalén, ya había recibido el manuscrito de manos de Elsa. El documento¹¹ que confirmaba la transacción y que estaba firmado por Kohn estipulaba que el manuscrito debía ser devuelto «sin dilación al profesor Einstein en el supuesto de que la aceptación por parte de la universidad del manuscrito le supusiera algún inconveniente». El documento también establecía que la señora Einstein debía recibir dos mil marcos que tenían que ser transferidos al Patronato Albert Einstein de Potsdam para uso del profesor Freundlich, y la suma de cuatrocientos marcos tenía que quedar en poder de la señora Einstein para distribuir en sus obras pías.

Cuando recibió la noticia de que el manuscrito se hallaba de camino a Jerusalén, Einstein escribió con alivio a Elsa en una carta fechada el 23 de abril: «Me alegro de haberme librado del manuscrito y te agradezco que me hayas hecho este servicio por amor (*Liebesdienst*); es mejor esto y no que acabe en el fuego o vendido».¹²

La Universidad Hebrea custodia el manuscrito original de la relatividad general desde su inauguración, el 1 de abril de 1925, y éste es una de sus posesiones más preciadas. El manuscrito completo fue exhibido por vez primera en una exposición para celebrar el



cincuenta aniversario de la Academia de Ciencias Israelí. Cada una de sus cuarenta y seis páginas fue introducida en una caja con iluminación y microclima controlados. Al igual que ya ocurriera con su predecesor de 1912, el manuscrito atrajo a una multitud de interesados y entusiasmados visitantes.

En 2013 la Agencia Espacial Europea envió al espacio un vehículo automático de transporte de carga (ATV-4 por sus siglas en inglés) llamado «Albert Einstein», con la misión de trasladar suministros y equipamiento a la Estación Espacial Internacional. Entre estos suministros se hallaba la primera página del manuscrito objeto del presente libro, que fue firmada por el astronauta Luca Parmitano a bordo de la estación espacial como gesto simbólico para reconocer la importancia del manuscrito y de lo que representa para la historia de la humanidad.

Ésta es la historia de un solo manuscrito, pero que posee una gran importancia. En los Archivos Albert Einstein de la Universidad Hebrea existen muchos manuscritos parecidos, los cuales constituyen capítulos de inspiración de la historia de la física. En la actualidad se está procediendo a su edición y estudio por parte de historiadores de la ciencia en el Instituto de Tecnología de California y en otros lugares, dentro del marco del Proyecto Artículos de Einstein. Todos ellos arrojaron luz sobre el proceso creativo de la ciencia en los años formativos de la física moderna.

NOTAS

1. Walter Benjamin, «La obra de arte en la época de su reproductibilidad técnica», en *Escritos sobre la fotografía*, Valencia, Pre-textos.
2. Albert Einstein, «On the Electrodynamics of Moving Bodies» (1905), CPAE vol. 2, documento 23, págs. 140-171.
3. Una edición facsímil de este manuscrito fue publicada por George Braziller con el título de «Einstein's 1912 Manuscript on the Special Theory of Relativity», Nueva York: Braziller, 1996.
4. Michael Janssen ha estudiado con detalle esta cuestión en «Of Pots and Holes: Einstein's Bumpy Road to General Relativity», *Annalen der Physik* 14 (2005), Suplemento: 58-85; y por Tilman Sauer, «Einstein's Review Paper on General Relativity Theory», en *Landmark Writings in Western Mathematics, 1640-1940*, editores: I. Grattan-Guinness, Amsterdam: Elsevier, 2005, 802-822.
5. Einstein a H.A. Lorentz, 17 de enero de 1916, CPAE, vol. 8, documento 183.
6. Einstein a Erwin Freundlich, 20 de diciembre de 1921, CPAE, vol. 12, documento 330, Albert Einstein Archives (AEA) 11-319.
7. Einstein a Arnold Berliner, 24 de diciembre de 1921, CPAE, vol. 12, documento 339, AEA 11-318, AEA 11-319.
8. Einstein a Paul Oppenheim, 15 de abril de 1922, CPAE, vol. 13, documento 146, AEA 11-323.
9. Heinrich Loewe a Albert Einstein, 30 de julio de 1923, AEA 36-860.
10. Einstein a Elsa Einstein, 15 de abril de 1925, AEA 143-186.
11. Leo Kohn, 19 de marzo de 1925, AEA 36-863.
12. Einstein a Elsa Einstein, 23 de abril de 1925, AEA 143-187.