



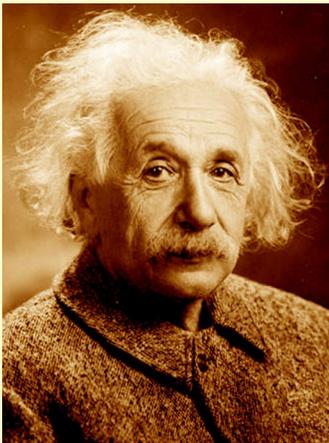
Leyendo a...

# La Física, aventura del pensamiento

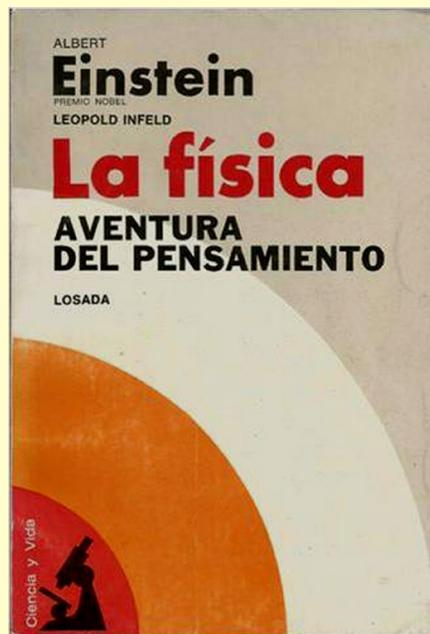
El desarrollo de las ideas desde los primeros conceptos hasta la relatividad y los cuantos

## de Albert Einstein y Leopold Infeld

---



Einstein



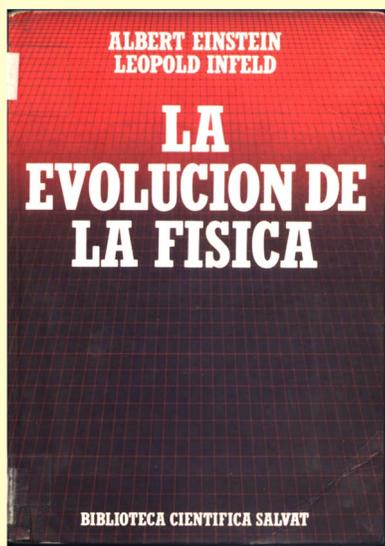
Infeld

Albert Einstein (1879 – 1955), físico teórico alemán-suizo-norteamericano. Sus teorías de la relatividad contribuyeron a formar la ciencia del siglo XX y han tenido profundas implicaciones para la Física y la Astronomía. La teoría especial de la relatividad, publicada en 1905, se originó al fallar la detección del éter y se construyó sobre la base de los trabajos del físico alemán Hendrik Antoon Lorentz (1853 – 1928) y del físico irlandés George Francis Fitzgerald (1851 – 1901). Einstein encontró la relación  $E = m c^2$  entre la masa y la energía, que fue la clave para comprender la generación de energía en las estrellas. La teoría general de la relatividad, enunciada en 1915 y publicada en 1916, que da cuenta de la gravitación, asume una gran importancia en los sistemas a nivel cósmico, lo que ha tenido un gran impacto en la cosmología. La Astronomía ha facilitado la evidencia observacional para sostener esas teorías. Einstein no produjo ningún trabajo posterior de gran significado, intentando buscar sin éxito una teoría que uniera la relatividad con la fuerza electromagnética (llamada la gran teoría unificada).

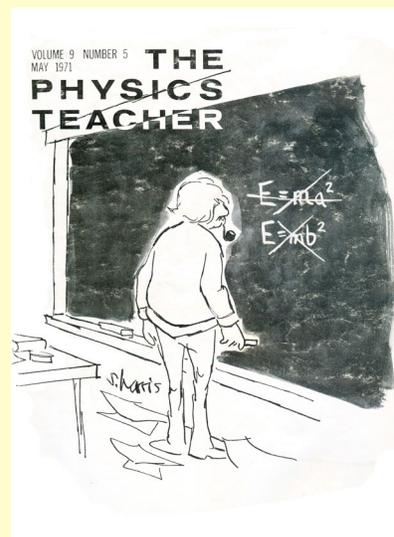
---

*Eureka, Enseñanza de las Ciencias Físicas, julio 2015*

Leopold Infeld (1898 – 1968). Físico polaco que trabajó principalmente en Polonia y Canadá (1938–1950). Fue académico de la Universidad de Cambridge (1933–1934) y miembro de la Academia de Ciencias de Polonia. Tras doctorarse en 1921, estudió Física Teórica en Berlín. En 1933 se trasladó a Gran Bretaña, trabajando en Cambridge con Max Born en la elaboración de una teoría sobre la electrodinámica no lineal. En 1936 marchó a Estados Unidos y se incorporó al Institute for Advanced Study, en Princeton, donde estuvo en estrecho contacto con Albert Einstein, al que propuso la redacción de un libro que contribuyera a divulgar los resultados de la teoría de la relatividad. Einstein acogió favorablemente la iniciativa, que se materializó, en 1938, con la publicación de *La evolución de la Física*. En ese mismo año, Infeld fue nombrado profesor de Matemáticas Aplicadas en la Universidad de Toronto, en la que permaneció hasta su regreso a Polonia en 1950, como profesor de la Universidad de Varsovia y director del Instituto de Física Teórica. Estudió, junto con A. Einstein y B. Hoffmann, el problema de las ecuaciones del movimiento en la teoría de la relatividad generalizada. Otras de sus obras son *El mundo de la investigación científica moderna* (1941), *Movimiento y relatividad* (1960) y *Esbozos del pasado* (1965).



El libro que se comenta en esta ocasión ha tenido dos ediciones en español. La primera, de Editorial Losada, tiene por título *La Física, aventura del pensamiento*. La segunda, más ajustada a su título original, *La evolución de la Física*, de Editorial Salvat.



Una caricatura de la formulación de la ecuación  $E= m c^2$ .

---

El propósito que se plantearon los autores en el prefacio del libro, en sus propias palabras, dicen: "Nuestra intención fue, más bien, describir a grandes rasgos, las tentativas de la mente humana para encontrar una conexión entre el mundo de las ideas y el mundo de los fenómenos. Hemos tratado de mostrar las fuerzas activas que obligan a la ciencia a inventar ideas correspondientes a la realidad de nuestro mundo. Pero la explicación ha tenido que ser sencilla. Del laberinto de hechos y conceptos hemos tenido que elegir algún camino real que nos pareció más característico y significativo. Ha habido que omitir hechos y teorías que no se han alcanzado por este camino. Nos vimos forzados por nuestro objetivo general a efectuar una selección cuidadosa de hechos e ideas. La importancia de un problema no debe juzgarse según el número de páginas que se le dedican. Ciertas líneas esenciales del pensamiento no se han introducido, no porque nos parecieran faltas de importancia, sino porque no están en o cerca del camino que hemos elegido." El libro consta de cuatro capítulos



Einstein y Leopold Infeld en una imagen de 1938.

**Cap. I. Génesis y ascensión del punto de vista mecánico:**

El gran misterio. - La primera clave. - Vectores. - El problema del movimiento. - Una clave que pasó inadvertida, - ¿Es una sustancia el calor? - La montaña rusa. - La equivocación. - El fondo filosófico. - La teoría cinética de la materia.

"En cada etapa tratamos de encontrar una interpretación que tenga coherencia con las claves ya resueltas. Se han aceptado teorías que explicaron muchos hechos, pero no se ha desarrollado hasta el presente una solución general compatible con todas las claves conocidas."

“La lectura del grande y misterioso libro de la naturaleza ha progresado rápidamente desde entonces, es decir, desde Galileo y Newton; nuevas técnicas y métodos sistemáticos de investigación se han desarrollado; ciertas claves han sido resueltas, aun cuando muchas soluciones resultaron temporales y superficiales a la luz de investigaciones posteriores.”

“Acabamos de ver que la ley de inercia no puede inferirse directamente de la experiencia, sino mediante una especulación del pensamiento, coherente con lo observado. El experimento ideal, no podrá jamás realizarse, a pesar de que nos conduce a un entendimiento profundo de las experiencias reales.”

“El pensamiento humano crea una imagen del universo, eternamente cambiante. La contribución de Galileo consiste en haber destruido el punto de vista intuitivo, que reemplazó con uno nuevo. En eso consiste la significación fundamental del descubrimiento de Galileo.”

“Al pasar del movimiento rectilíneo al movimiento a lo largo de una trayectoria curva, aparecen nuevas dificultades. Debemos tener la valentía de sobreponernos a estas dificultades, si deseamos comprender los principios de la mecánica clásica que nos dieron las primeras claves y que constituyen el punto inicial en el desarrollo de esta ciencia.”

“La generalización es un proceso que se emplea muy a menudo en la ciencia. El método de generalización no está determinado unívocamente; hay, usualmente, numerosas maneras de llevarla a cabo. Sin embargo, debe satisfacerse un requisito: todo concepto generalizado se debe reducir al concepto original cuando se establecen las condiciones previas.”



Eliminando el roce en la montaña rusa.

“Luego, si introducimos la velocidad, el cambio de velocidad y la fuerza para el movimiento curvilíneo, estos conceptos quedan automáticamente definidos, también, para el movimiento rectilíneo.”

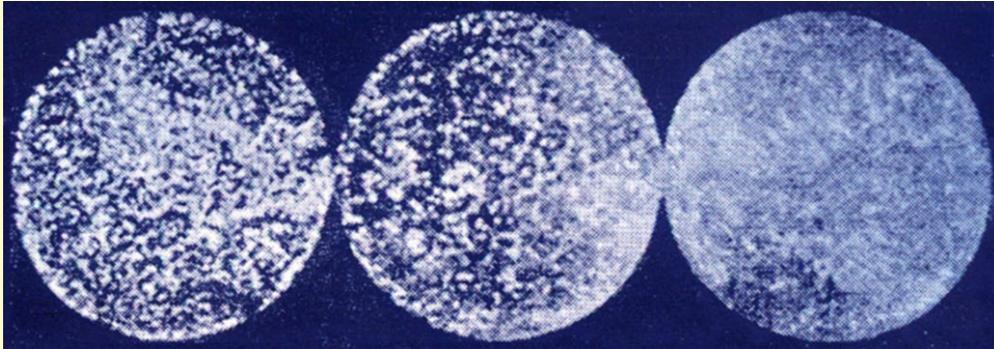
“En la práctica, resulta evidentemente imposible librar a un cuerpo de toda influencia exterior. Pero nos podemos preguntar: «¿qué pasaría si ...?» y juzgar la validez de nuestra conjetura por las conclusiones que de ella se pueden derivar y por su acuerdo con la experimentación.”

“Estamos exponiendo los trabajos de los pioneros de la ciencia, que consisten en descubrir nuevos e inesperados caminos para su progreso; las aventuras del pensamiento científico que crea una imagen eternamente variable del universo. Los pasos iniciales y fundamentales son siempre revolucionarios. La imaginación científica reemplaza los conceptos antiguos por otros nuevos y más amplios. Entre dos crisis, la ciencia continúa un desarrollo evolutivo. Para entender las razones y las dificultades que obligan a una modificación importante de los conceptos usuales, se deben conocer las claves iniciales y las conclusiones que de ellas se deducen.”

“Para alcanzar conclusiones cuantitativas nos vemos obligados a recurrir al lenguaje de las matemáticas. La mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia son esencialmente simples y pueden, por regla general, exponerse en lenguaje accesible a todo el mundo. Para desentrañar y desarrollar estas ideas se inquiere el conocimiento de una refinadísima técnica de investigación. Las matemáticas, como instrumento para razonar son indispensables si queremos obtener resultados que puedan someterse a prueba experimentalmente. Mientras nos ocupemos únicamente de las ideas físicas fundamentales, podremos evitar el empleo de las matemáticas. Como en estas páginas hacemos esto sistemáticamente, en ocasiones nos vemos restringidos a citar, sin prueba, ciertos resultados necesarios para comprender claves importantes que aparecen en el desarrollo ulterior de la física. El precio que hay que se debe pagar por abandonar el lenguaje matemático consiste en una pérdida de precisión y en la necesidad de mencionar a veces resultados sin indicar cómo se obtuvieron.”

“Los conceptos físicos son creaciones libres del espíritu humano y no están, por más que parezca, únicamente determinados por el mundo exterior. En nuestro empeño de concebir la realidad, nos parecemos a alguien que tratara de descubrir el mecanismo invisible de un reloj, del cual ve el movimiento de las agujas, oye el tic-tac, pero no le es posible abrir la caja que lo contiene. Si se trata de una persona ingeniosa e inteligente, podrá imaginar un mecanismo que sea capaz de producir todos los efectos observados: pero nunca estará segura de si su imagen

es la única que los pueda explicar. Jamás podrá compararla con el mecanismo real, y no puede concebir, siquiera, el significado de una comparación que le está vedada. Como él, el hombre de ciencia creerá ciertamente que, al aumentar su conocimiento, su imagen de la realidad se hará más simple y explicará mayor número de impresiones sensoriales. Puede creer en la existencia de un límite ideal del saber, al que se aproxima el entendimiento humano, y llamar a este límite la verdad objetiva."



Partículas Brownianas vistas con el microscopio.

En resumen: "De acuerdo con la mecánica, es posible predecir la trayectoria futura de un cuerpo en movimiento y revelar su pasado, si se conoce su estado presente y las fuerzas que obran sobre él. Así, por ejemplo, se pueden prever las trayectorias futuras de todos los planetas. Las fuerzas actuantes son las de gravitación de Newton, que solo dependen de la distancia. Los admirables resultados de la mecánica clásica sugieren la conjetura de que la concepción mecánica puede aplicarse de modo coherente a todas las ramas de la física, que todos los fenómenos pueden explicarse por la acción de fuerzas de atracción o repulsión, la cual depende únicamente de la distancia y obra entre partículas invariables.

En la teoría cinética de la materia vemos cómo este punto de vista, que se origina en los problemas mecánicos, abarca los fenómenos del calor y cómo conduce a una imagen satisfactoria de la materia."

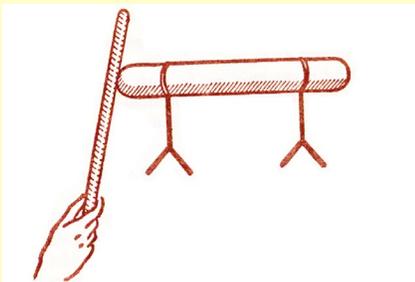
## Cap. II. La declinación de la interpretación mecánica de la Física:

Los dos fluidos eléctricos. - Los fluidos magnéticos. - La primera dificultad seria. - La velocidad de la luz. - La luz como sustancia. - El problema del calor. - ¿Qué es una onda? - La teoría ondulatoria de la luz. - ¿Las ondas luminosas son transversales o longitudinales? - El éter y la interpretación mecánica.

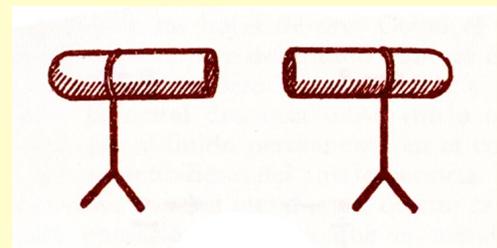
En resumen: "En las teorías antiguas de los fluidos eléctricos, en las teorías corpuscular y ondulatoria de la luz, tenemos otras tantas tentativas de interpretación mecánica. Pero esta interpretación encuentra graves dificultades en el campo de los fenómenos ópticos y eléctricos.

Una carga móvil actúa sobre una aguja magnética, pero con una fuerza que no depende solamente de la distancia sino también de la velocidad de la carga. La fuerza no atrae ni repele, sino que actúa perpendicularmente a la línea de unión de la aguja y la carga.

En la óptica tenemos que decidimos en favor de la teoría ondulatoria de la luz. Ahora bien, suponer ondas que se propagan en un medio compuesto de partículas, entre las cuales actúan fuerzas mecánicas, constituye evidentemente una concepción mecánica. Pero ¿en qué consiste ese medio a través del cual se propaga la luz, y cuáles son sus propiedades mecánicas? Según vimos, no hay esperanza de reducir los fenómenos ópticos a fenómenos mecánicos sin contestar antes la pregunta anterior. Pero las dificultades encontradas al tratar de resolver este problema son tan grandes, que no nos queda otro remedio que abandonar esa tentativa y, por lo tanto, abandonar la interpretación mecánica de la naturaleza”.



Cargando eléctricamente una barra con una varilla de caucho.



Dividiendo la barra en dos partes y alejando la varilla.

### Cap. III. Campo y relatividad:

El campo como representación. - Los dos pilares de la teoría del campo. - La realidad del campo. Campo y éter. - El andamio (red) mecánico. . . - Éter y movimiento. - Tiempo, distancia y relatividad. - Relatividad y mecánica. - El continuo espacio-tiempo. - Relatividad generalizada. - Fuera y dentro de un ascensor. - Geometría y experiencia. - La relatividad generalizada y su verificación experimental. - Campo y materia.

“Un nuevo concepto aparece en la física, la invención más importante a partir de la época de Newton: el campo. Requirió una aguda imaginación científica para darse cuenta de que no eran las cargas ni las partículas, sino el campo existente entre ellas lo esencial en la descripción de los fenómenos físicos. El concepto de campo resulta de una eficacia inesperada, dando origen a la formulación de las ecuaciones de Maxwell, que describen la estructura del campo electromagnético, gobernando al mismo tiempo los fenómenos eléctricos y los ópticos.

La teoría de la relatividad se origina en los problemas del campo. Las contradicciones e inconsistencia de las teorías clásicas nos fuerzan a adjudicar nuevas propiedades al continuo espacio-tiempo, al escenario de todos los acontecimientos de nuestro mundo físico.

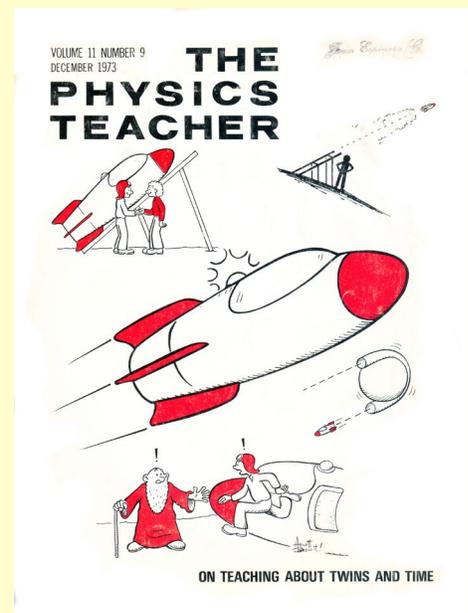
La teoría de la relatividad se desarrolla en dos etapas. La primera conduce a la llamada teoría de la relatividad restringida o especial que se aplica solo a sistemas de coordenadas inerciales, esto es, a sistemas en los que es válido el principio de inercia como lo formulara Newton. Esta teo-

relativista restringida se basa sobre dos suposiciones fundamentales, a saber: las leyes físicas son las mismas en todos los sistemas de coordenadas en movimiento uniforme relativo entre sí; y la velocidad de la luz tiene siempre el mismo valor. De estos postulados, completamente confirmados por las experiencias, han sido deducidas las propiedades de barras y relojes en movimiento, su cambio de longitud y de marcha en función de la velocidad. Esta teoría modifica las leyes de la mecánica. Las leyes clásicas no se cumplen si la velocidad de la partícula móvil se aproxima a la de la luz. Las nuevas leyes relativas del movimiento de los cuerpos han sido espléndidamente confirmadas por la experiencia. Otra consecuencia de la teoría (especial) de la relatividad es la conexión entre masa y energía. La masa es energía y la energía tiene masa. Los dos principios de conservación de masa y de energía son combinados por la teoría de la relatividad en un solo principio, el de la conservación de la masa-energía.

La teoría general de la relatividad da un análisis aún más profundo del continuo espacio-tiempo. La validez de esta teoría ya no está restringida a sistema de coordenadas inerciales. Ataca el problema de la gravitación y formula nuevas leyes que dan la estructura del campo gravitacional. Nos induce a analizar el papel que desempeña la geometría en la descripción del mundo físico. Considera la equivalencia entre la masa inercial y la masa gravitacional como una clave esencial y no como una coincidencia accidental, según era considerada en la mecánica clásica. Las consecuencias experimentales de la teoría de la relatividad generalizada difieren solo levemente de la mecánica clásica y han estado de acuerdo con la experiencia, cada vez que se pudo establecer la prueba. Pero el valor de la teoría reside en su coherencia interna y en la simplicidad de sus suposiciones fundamentales.

La teoría de la relatividad acentúa la importancia del concepto de campo en la física. Pero todavía no se ha tenido éxito en formular una física pura de campo. Por ahora debemos admitir, aún, la existencia de ambos: campo y materia."

La paradoja de los astronautas gemelos, según la relatividad especial.



**Cap. IV. Cuantos:**

Continuidad y discontinuidad. - Cuantos elementales de materia y electricidad. - Cuantos de luz.- Espectros luminosos.- Las ondas de materia.- Ondas de probabilidad. - Física y realidad.

“La enorme, y variada multitud de hechos del dominio de los fenómenos atómicos nos fuerza, como antes, a la invención de nuevos conceptos físicos. La materia tiene una estructura granular; está compuesta de partículas elementales, de cuantos elementales de materia. También poseen estructura granular, y esto es de la máxima importancia desde el punto de vista de la teoría de los cuantos -, la carga eléctrica y la energía. Los fotones son los cuantos de energía que componen la luz.

¿Es la luz una onda o una lluvia de fotones? Un haz de electrones, ¿es una lluvia de partículas elementales o una onda? Estas cuestiones fundamentales de la física proceden de la experiencia. Al tratar de contestarlas tenemos que abandonar la descripción de los sucesos atómicos como acontecimiento en el tiempo y en el espacio, tenemos que alejarnos, más todavía, del clásico punto de vista mecánico. La física de los cuantos posee leyes que rigen multitudes y no individuos. No describe propiedades, sino probabilidades, no tenemos leyes que revelen el futuro de los sistemas, sino leyes que expresan las variaciones en el tiempo de las probabilidades y que se refieren a conjuntos o agregaciones de un gran número de individuos.

Selección y notas: Juan Espinoza G.