

# MEDITACIONES EN TORNO A LA RELATIVIDAD

Luis González

## INTRODUCCION

Dice Pascual Jordan en *La Física del Siglo XX*, que la posición del hombre de ciencia que escribe un libro de divulgación científica, es comparable "al papel de un civil metido a corresponsal de guerra en el teatro de operaciones, quien tiene que limitarse a esbozar algunos cuadros impresionantes de lo que está pasando, sin poder penetrar seriamente en los verdaderos problemas estratégicos y técnicos".

Ahora bien, si esta es la posición de quien escribe un libro de divulgación científica, ya podrá juzgar el lector cuál será la de quien intenta simplemente escribir un modesto artículo.

No pretendo dar aquí una explicación más o menos satisfactoria de la teoría relativista; tal cosa sería imposible dentro de las limitaciones de espacio impuestas por un corto artículo. Deseo más bien explicar cuáles son, a mi entender, las dificultades que ofrece la teoría relativista para ser comprendida por un público no especializado.

Pienso que esas dificultades pueden ser agrupadas en dos categorías de naturaleza muy diferente.

Una de ellas es de carácter técnico, y es prácticamente insuperable aun para un público culto, pero no especializado.

Refiriéndose a esta clase de dificultades, dice Carlos Nordmann (astrónomo del observatorio de París) en su libro *Einstein y el Universo*: "Mientras que para comprender a Spinoza, no es necesario sino saber un poco de latín, monstruos espantosos montan la guardia ante Einstein y se esfuerzan con horribles muecas en impedir el acceso.

"Se agitan detrás de móviles y extrañas rejas, tan pronto rectangulares, tan pronto curvilíneas, que se llaman coordenadas.

"Llevan nombres tan monstruosos como ellos mismos. Llámense: vectores contravariantes y covariantes, tensores, escalarios, determinantes, vectores ortogonales, símbolos de tres índices generalizados... ¡qué se yo!

"Todos estos seres, importados del fondo más salvaje de la selva matemática, se agrupan o se subdividen con una extraña promiscuidad por esas asombrosas cirugías que se llaman la integración y la diferenciación.

"En una palabra, si Einstein es un tesoro, una horrible legión de reptiles matemáticos aleja de él al curioso".

Esto lo escribía Nordmann hacia el año 1922. Si bien es cierto que desde entonces una pléyade de hábiles expositores y divulgadores ha logrado exponer el asunto en términos mucho más accesibles, siempre sigue siendo un hecho que las dificultades matemáticas y físicas constituyen un serio escollo para el profano.

La otra clase de dificultades es de índole filosófica y es la única que trataremos de abordar en las siguientes líneas.

## ESPACIO Y TIEMPO

A mi entender, la Relatividad, antes de ser una teoría física expuesta en un lenguaje estrictamente matemático, ha sido una profunda meditación filosófica.

Y ¿sobre qué ha versado esta meditación? Ha versado principalmente sobre los conceptos básicos de espacio y de tiempo. Y aquí viene la primera gran dificultad.

En efecto, ya sea de una manera consciente o inconsciente, vivimos bajo la influencia de una corriente de ideas universalmente aceptadas, que nos han sido transmitidas de generación en generación como una herencia intelectual. Y dentro de estas ideas, que se consideran obvias y que nadie pone en duda, se encuentra la creencia firmemente arraigada de que existen, por derecho propio, por sí y ante sí, como realidades objetivas y autónomas, un espacio absoluto y un tiempo absoluto.

Pero—se preguntará el lector—¿qué se entiende por espacio absoluto y por tiempo absoluto? ¿En qué consiste ese absolutismo del espacio y del tiempo, en qué se manifiesta, cuáles son sus consecuencias inmediatas?

Trataré de explicarlo con un ejemplo sencillo.

Consideramos dos puntos fijos del espacio, A y B; se comprende fácilmente que si estos puntos no están en coincidencia, estarán separados por una cierta distancia que llamaremos la distancia AB. Ahora bien, la distancia entre dos puntos fijos del espacio tiene para nosotros un sentido unívoco. En primer lugar, en virtud del principio de identidad, esta distancia será idéntica a sí misma;  $AB = AB$ . En segundo lugar, tiene un valor intrínseco que no depende de las condiciones del observador, y es el *mismo* para todos los observadores, sean cuales fueren las condiciones de observación. Seguiría siendo el *mismo* aun cuando no existieran observadores; en una palabra, tiene un sentido absoluto.

Entendemos, además, que este espacio tiene ciertas propiedades elementales: es único, infinito, isótropo (idéntico a sí mismo por todas partes y en todas direcciones), y preexiste a la materia. La materia simplemente está colocada en el espacio, y éste seguiría existiendo aun si estuviese totalmente vacío de cuerpos materiales.

Algo semejante puede decirse con respecto al tiempo. Entendemos con facilidad que si dos acontecimientos no son simultáneos, un cierto lapso transcurre entre ellos. Este lapso tiene un sentido en sí; es idéntico a sí mismo y, además, tiene el mismo valor para todos los observadores, sean cuales fueren las condiciones de observación. Seguiría siendo el *mismo* aun cuando no existieran observadores ni acontecimientos. En una palabra, tiene un sentido absoluto.

Entendemos, además, que este tiempo fluye uniformemente, que es isótropo, en el sentido en que pueden serlo las diferentes partes de una línea recta, y finalmente, que es el *mismo* para todos los ámbitos del Universo. Esto último es lo que podríamos llamar la ubicuidad del tiempo.

Tal es la concepción objetivista del espacio y del tiempo. En ella están basadas la Mecánica, la Física y la Astronomía clásicas, desde los tiempos de Galileo y Newton hasta nuestros días. Esto es lo que hemos aprendido en nuestros colegios de segunda enseñanza.

Si a alguien se le dijera que la distancia entre dos puntos fijos del espacio puede tener valores diferentes para observadores colocados en distintas condiciones, no lo creería, porque esto es contrario al principio de identidad. Diría que, si uno de los dos observadores está en lo justo, el otro estará necesariamente equivocado; no

pensaría nunca que los dos están en lo justo, porque esto equivale a admitir que existe un espacio distinto para cada observador.

Y la misma actitud adoptaría cualquiera si se le dijese que el lapso transcurrido entre dos acontecimientos no tiene un sentido unívoco, sino que puede tener distintos valores según sean las condiciones de observación; esto también es contrario al principio de identidad. Equivale a admitir que existe un tiempo distinto para cada observador, o dicho con otras palabras, que no existe el tiempo en sí como realidad subyacente y objetiva.

Dije antes que la concepción objetivista del espacio y del tiempo se encuentra firmemente arraigada en nuestro entendimiento. Y ¿por qué es esto así?

En primer lugar, porque coincide bastante bien con el sentido común de la mayoría de los mortales, y con la manera en que los datos de la experiencia se presentan a la intuición sensible (hasta tal punto que, para Kant, el espacio y el tiempo eran condiciones a priori de nuestra sensibilidad).

En segundo lugar, porque esta concepción resulta muy operante para las necesidades corrientes de nuestra vida y, hasta hace muy poco tiempo, para las necesidades de la ciencia pura.

En tercer lugar, y aunque no se tenga conciencia de ello, la gran autoridad de Newton contribuyó poderosamente a afianzar esta concepción.

Oigamos a Newton:

En su famosa obra *Principios Matemáticos de Filosofía Natural* expresó su pensamiento así:

“El tiempo absoluto, verdadero y matemático, por sí mismo y por su propia naturaleza corre igualmente sin consideración por nada exterior, y por otro nombre se llama duración . . . .

“El espacio absoluto, por su propia naturaleza, sin consideración a nada exterior, es siempre similar e inmóvil . . . .” (1).

Pero Newton no se limitó únicamente a filosofar, sino que, sobre estas concepciones, edificó la Mecánica, que es la teoría matemática del movimiento. Dicho de otra manera, Newton hizo cristalizar su pensamiento filosófico en fórmulas matemáticas, dándole así una fuerza arrolladora.

La Mecánica de Newton explica de una manera muy satisfactoria, no solamente los movimientos de los cuerpos celestes, sino también los movimientos locales, esto es, los que observamos aquí en la Tierra, junto a nosotros.

Durante doscientos años (más o menos) la Mecánica de Newton no conoció sino un triunfo tras otro. El éxito fue tan clamoroso, que hasta los mismos hombres de ciencia, entusiasmados, llegaron a pensar que las hipótesis básicas sobre las cuales estaba fundada la Mecánica, eran realidades objetivas. Y este es un punto de capital importancia sobre el cual debemos insistir.

## HIPOTESIS Y REALIDAD

Ninguna persona sensata debe caer en el error de identificar las hipótesis científicas (que en el fondo no son sino concepciones del entendimiento), con realidades objetivas. La historia de las ciencias, y en particular la historia de la Física, es harto aleccionadora a este respecto. Bien es cierto que ha habido casos en que una

---

(1) Citado en *La Estructura del Universo*, G. J. Whitrou.

hipótesis científica ha llegado a cristalizar en una realidad objetiva; tal ha sucedido con la teoría atómica. Sin embargo, cuando se llegó a comprobar la existencia real de los átomos, éstos resultaron ser sumamente diferentes de como se les había imaginado.

En definitiva, las hipótesis científicas, por más razonables que nos parezcan, no son ni pretenden ser *la verdad*. Lo único que pretenden es salvar las apariencias, es decir, explicar y coordinar los hechos observados de una manera lógica y coherente, pero nada más.

A este respecto resulta interesante citar aquí las palabras de Eligio Perucca: "... En fin, horripila decirlo, pero interesa poco al físico que el éter exista realmente. Lo que interesa es que, admitida la existencia de un éter dotado de propiedades convencionales, compatibles entre sí, se puedan coordinar lógicamente muchas leyes físicas experimentales ya establecidas y predecir otras nuevas para someterlas a la comprobación experimental" (2).

En resumen, no admitimos las hipótesis científicas porque sean *ciertas*, sino porque son *operantes* (Poincaré empleaba la palabra "cómodas" en vez de operantes), y las abandonamos cuando el adelanto de la ciencia las vuelve inoperantes.

Galileo dio un gran paso cuando cambió el interrogante aristotélico: *¿Por qué?* que caracterizaba una física puramente especulativa, por el interrogante mucho más modesto: *¿Cómo?* que caracteriza una ciencia positivista y experimental.

Ahora bien, la Física moderna se ha vuelto tan intrincada y enigmática, que los físicos se han visto forzados a cambiar el interrogante: *¿Cierto o falso?* que caracteriza una aspiración hacia la verdad absoluta, por este otro mucho menos pretencioso: *¿Operante o inoperante?* que se contenta apenas con una verdad puramente formal.

Pero—se preguntará el lector—¿a qué viene todo ese discurso sobre las hipótesis científicas? ¿Se pretende acaso insinuar que la teoría de la relatividad abandona la concepción absolutista del espacio y del tiempo? Precisamente, de eso se trata.

Pero vayamos despacio y hagamos primero un poco de historia, porque existen antecedentes que es conveniente conocer.

## ANTECEDENTES HISTORICOS

En la misma época en que Newton proclamaba el absolutismo del espacio y del tiempo, el gran matemático y filósofo alemán Leibniz sostenía una doctrina diametralmente opuesta.

En carta a Clarke, el inglés defensor de los principios newtonianos, escribió Leibniz:

"Digo, pues, que si el espacio fuera un ser absoluto, ocurriría algo para lo cual sería imposible que existiera una razón suficiente... El espacio es algo absolutamente uniforme, y sin las cosas situadas en él un punto del espacio no difiere en ningún sentido de otro punto del espacio. Ahora, de esto se sigue que si suponemos que el espacio es algo en sí mismo, algo distinto del orden de los cuerpos entre sí, es imposible que haya una razón que explique por qué Dios, conservando las mismas posiciones para los cuerpos entre sí, ha ordenado así y no de otra manera los cuerpos en el espacio, y por qué no se puso todo a la inversa (por ejemplo) cambiando el Este y el Oeste. Pero si el espacio no es otra cosa que este orden o relación, y no es nada sin cuerpos, sino la posibilidad de colocarlos en él, esas dos condiciones, la

(2) *Física General y Experimental*, Tomo I, Pág. 6.

una como las cosas son, la otra supuesta al revés, no diferirían entre sí; la diferencia existe solamente en nuestra quimérica suposición de la realidad del propio espacio...

“Lo último es cierto del tiempo. Supongamos que alguien pregunta por qué no creó Dios todo un año antes; y que la misma persona quiere inferir de eso que Dios hizo algo, posiblemente, sin razón de hacerlo así antes que de otra manera. Responderíamos que su inferencia sería exacta si el tiempo fuese algo aparte de las cosas temporales, pues sería imposible que hubiera razones para que las cosas se aplicaran a ciertos instantes y no a otros siendo su sucesión la misma. Pero esto mismo prueba que los instantes, aparte de las cosas, son nada, y que solamente consisten en el orden sucesivo de las cosas; y si éste sigue siendo el mismo, uno de los dos estados (por ejemplo, aquel en que se imaginó la creación como ocurrida un año antes) no sería en modo alguno distinto y no podría distinguirse del otro que existe hoy” (3).

Ahora bien, en el siglo XVII no se veía ni la necesidad ni la posibilidad de edificar una física basada en concepciones iguales o semejantes a las de Leibniz. Hubieron de transcurrir alrededor de doscientos años antes de que esto fuese, no solamente necesario, sino también posible.

Pero antes de seguir adelante, es interesante recordar todavía que, ya en los tiempos de la antigüedad clásica, se había planteado un antagonismo semejante entre las concepciones de Aristóteles y las de Epicuro.

En efecto, dice Aristóteles:

“... ¿Hay, pues, un tiempo diferente, y existirían simultáneamente dos tiempos iguales? No, porque todo el tiempo es el mismo e igual tomado simultáneamente, y tomados en sucesión, los tiempos específicamente son uno. Sean siete perros y siete caballos: el número es el mismo. Así, para movimientos simultáneamente ejecutados, el tiempo es el mismo, sea el movimiento rápido o no, transportativo o alterativo. El tiempo es el mismo, porque el número es igual y simultáneo para la alteración y el transporte. Los movimientos son diferentes y separados, mientras que el tiempo es el mismo para todos, porque el número de objetos iguales y simultáneos es uno y el mismo” (4).

A pesar de la obscuridad de este párrafo, se ve bien que Aristóteles postula aquí la unicidad del tiempo y, desde luego, su autonomía.

Contra esta concepción aristotélica del tiempo, se levantaba ya la concepción de Epicuro.

En efecto, dice Lucrecio exponiendo las doctrinas de Epicuro:

“El tiempo no existe por sí mismo, sino únicamente por los objetos sensibles, de lo que resulta la noción de pasado, de presente y de porvenir. No se puede concebir el tiempo en sí e independientemente del movimiento o del reposo de las cosas” (5).

Vemos pues que el problema del espacio y del tiempo es muy antiguo y que ha inquietado a más de un pensador.

Podrían hacerse muchas citas por el estilo de las anteriores, pero no es nuestra intención agotar el tema.

Señalaremos únicamente que, a fines del siglo pasado, el eminente matemático y filósofo francés Henri Poincaré, enarboló nuevamente, y con gran entusiasmo, la bandera del relativismo. En su obra *Ciencia y Método* (Libro II Cap. I) analiza con mucha agudeza el problema de la relatividad del espacio.

(3) Citado en *La Estructura del Universo*, pág. 69.

(4) ARISTOTELES, *Física*, Libro IV, Cap. XIV.

(5) LUCRECIO, *De Natura Rerum*, Libro I, versos 460 y sigtes.

Para que el lector pueda apreciar la originalidad con que enfoca Poincaré el problema, desde un ángulo totalmente distinto al de Leibniz, transcribiré aquí las frases iniciales, del capítulo mencionado.

“Es imposible representarse el espacio vacío; todos nuestros esfuerzos para imaginar un espacio puro, del cual estuvieran excluidas las imágenes cambiantes de los objetos materiales, no pueden conducir más que a una representación en la cual las superficies fuertemente coloreadas, por ejemplo, son reemplazadas por líneas de coloración tenue, y no se puede llegar hasta el fin siguiendo esta vía, sin que todo se desvanezca y termine en la nada. Es de ahí que proviene la relatividad irreducible del espacio.

“Cualquiera que hable del espacio absoluto, emplea una palabra sin sentido. Es ésta una verdad que ha sido proclamada desde hace mucho tiempo por todos

aquellos que han reflexionado en el asunto, pero que, con demasiada frecuencia,

“Estoy en un punto determinado de París, en la Plaza del Panthéon, por ejemplo, y digo: volveré aquí mañana. Si se me pregunta: ¿Quiere usted decir que volverá al mismo punto del espacio?, tendría la tentación de responder: Sí, y sin embargo estaría equivocado, puesto que de aquí a mañana la Tierra se habrá desplazado llevándose consigo la Plaza del Panthéon, que habrá recorrido más de dos millones de kilómetros. Y si quisiera precisar mi lenguaje, nada ganaría con ello, puesto que estos dos millones de kilómetros, los ha recorrido nuestro globo en su movimiento con respecto al Sol, pero el Sol a su vez se desplaza con respecto a la Vía Láctea y la Vía Láctea sin duda se mueve también sin que podamos conocer su velocidad. De suerte que ignoramos, e ignoraremos siempre, cuánto se desplaza en un día la Plaza del Panthéon. En suma, he querido decir: mañana veré de nuevo la cúpula y el frontón del Panthéon, y si no hubiera Panthéon, mi frase no tendría ningún sentido y el espacio se desvanecería.

“Es ésta una de las formas más banales del principio de la relatividad del espacio; pero hay otra, sobre la cual Delbeuf ha insistido particularmente. Supongamos que, en una noche, todas las dimensiones del Universo se volvieran mil veces más grandes; el mundo quedaría semejante a sí mismo, dándole a la palabra “semejante” el mismo sentido que tiene en el Libro III de Geometría. Solamente que, aquéllo que tuviera un metro de largo, tendría ahora un kilómetro, y lo que tuviera un milímetro, tendría ahora un metro. La cama en que estoy acostado y mi cuerpo mismo, se habrían agrandado en la misma proporción. Cuando me despierte al día siguiente ¿qué sentimiento experimentaré en presencia de tan extraordinaria transformación? Pues señor, no me daría cuenta de nada. Las medidas más precisas serían incapaces de revelarme nada de este inmenso trastorno, puesto que los metros de que me sirviera habrían variado precisamente en las mismas proporciones que los objetos que trato de medir. En realidad, este trastorno no existe sino para aquéllos que razonan como si el espacio fuera absoluto. Si he razonado un instante como ellos, ha sido para hacer ver mejor que su manera de ver implica contradicción. En realidad, sería mejor decir que, siendo el espacio relativo, no ha pasado absolutamente nada, y es por eso que no nos hemos dado cuenta de nada”.

En el Capítulo II de su obra *El Valor de la Ciencia*, trata Poincaré el problema del tiempo, pero no podemos extendernos más sobre este punto.

Por las pocas citas hechas anteriormente, vemos que, por lo menos en el campo de la filosofía, el problema del espacio y del tiempo ha sido ya muy deba-

tido, y que tanto la tesis del absolutismo como la del relativismo han tenido brillantes defensores.

Sin embargo, antes de Einstein, el relativismo del espacio y del tiempo no pasó de ser una mera especulación filosófica, sin la menor influencia o repercusión en el dominio de la ciencia positiva y experimental.

Pero vino Einstein, e hizo con el relativismo lo mismo que antes hiciera Newton con el absolutismo; es decir, lo introdujo como postulado fundamental en un cuerpo de doctrina físico—matemático, lo hizo cristalizar en fórmulas matemáticas que interpretan hechos físicos, dándole así carta de naturaleza en el dominio de la Física.

Hasta aquí, he procurado presentar un panorama muy sucinto de la historia del problema del espacio y del tiempo, colocando apenas, en el largo camino, algunos jalones representativos.

## SURGEN DIFICULTADES

Pero surgen ahora, de una manera muy natural, algunas preguntas:

En primer lugar, hemos visto antes que la relatividad del espacio y del tiempo, entendida en el sentido de que puede haber espacios y tiempos distintos para diversos observadores según sean las condiciones de observación (y éste es el sentido en que la entiende la física relativista), implica una violación flagrante del principio de la unicidad del ser; y no solamente en un sentido cualitativo, sino también en un sentido cuantitativo, es decir, matemático.

Ahora bien, el principio de identidad, el principio de la unicidad del ser y el principio de la unicidad de la verdad ontológica, forman una especie de trinidad indisoluble, constituyen algo así como manifestaciones de una misma esencia, de tal suerte que no es posible atentar contra uno de ellos sin atentar también contra los otros. Estos principios básicos de la lógica aristotélica han sido mirados durante siglos como condiciones *sine qua non* del pensamiento lógico, y negarlos equivaldría a negar la posibilidad misma de razonar lógicamente; no podríamos apartarnos de ellos sin caer necesariamente en contradicción. ¿Cómo es posible entonces—se dirá—que la teoría de la relatividad no sea otra cosa que una serie de contradicciones?

En segundo lugar, hemos dicho antes que tanto la Física clásica como la Física relativista son cuerpos de doctrina físico-matemáticos, esto es, doctrinas físicas expuestas en lenguaje matemático. Se preguntará entonces el lector: ¿Cómo es posible que la Matemática, siendo la ciencia de la verdad necesaria y absoluta pueda prestarse, como una Celestina complaciente, a servir al mismo tiempo los intereses del absolutismo y los del relativismo?

En tercer lugar, hemos dicho que la Mecánica clásica alcanzó, durante más de doscientos años, un éxito sin precedentes; y podemos agregar que todavía se enseña en todas las universidades del mundo. Entonces ¿qué espíritu diabólico inspiró a Einstein para venir a cambiarlo todo y a volver el mundo patas arriba? Porque resulta que la relatividad no es simplemente una teoría más, sino que significa la reconstrucción total de la Física sobre nuevas bases.

En las líneas siguientes trataremos de responder a cada una de estas preguntas:

Tomemos pues la primera, referente al señalado antagonismo entre los principios básicos de la lógica formal y el relativismo del espacio y del tiempo.

Durante mucho tiempo, la lógica formal pretendió ser una ciencia normativa, que dicta las reglas que ha de seguir la razón—y muy particularmente en el caso del

hombre de ciencia—para investigar la verdad. Pretendió ser un método general y universal para llegar al conocimiento de la verdad en cualquier orden de cosas.

De acuerdo con esta concepción, el objetivo de la lógica sería: en primer lugar, descubrir y formular las leyes de la razón; y luego, preparar de antemano los moldes formales en los que habría de vaciarse ulteriormente toda la ciencia.

El adelanto de las ciencias sería entonces comparable a la marcha de un tren, que está sujeto a seguir el rumbo previamente marcado por los rieles; cualquier descarrilamiento sería fatal.

Se ve pues que, por lo menos en los primeros tiempos, se alentaba la esperanza de poder vaciar el universo entero dentro de los moldes formales de una razón a priori, que se sentía muy segura de sí misma.

Con el correr de los siglos, se fue haciendo cada vez más patente que esa ambición era desmentida; y ya en la época del Renacimiento, filósofos tales como Francis Bacon, reaccionaron contra semejante actitud. En efecto, oigamos a Bacon:

“No debe estrecharse el Universo hasta reducirlo a los límites del entendimiento, como han hecho los hombres hasta ahora, sino que debe extenderse y ampliarse el entendimiento para que abarque la imagen del Universo a medida que va siendo descubierto” (6).

No hay palabras con qué ponderar la importancia de este pensamiento de Bacon, porque ésta es, precisamente, la actitud que debemos adoptar si queremos comprender la Relatividad y, en general, toda la Física moderna.

A pesar de la enorme amplitud de miras que demuestra Bacon en el aferramiento que acabo de citar, él mismo cayó en la tentación de construir una sistematización lógica a priori con carácter normativo, aunque basada en ideas muchísimo más amplias que las de Aristóteles.

Pero la sistematización de Bacon tampoco fue de mayor utilidad en el adelanto de las ciencias, a juzgar por la autorizada opinión de Claudio Bernard. Vale la pena, por venir de quien vienen, reproducir aquí sus palabras:

“Los que han realizado más descubrimientos en la ciencia, son los que menos han conocido a Bacon; mientras que los que lo han leído y meditado, no han logrado en ella mucho acierto; y es porque, en efecto, estos procedimientos y estos métodos científicos, sólo se aprenden en los laboratorios, cuando el experimentador se enfrenta a los problemas de la naturaleza. Cuando filósofos como Bacon han querido entrar en una sistematización general de los preceptos para la investigación científica, han podido parecer seductores a las personas que saludan a las ciencias desde lejos; pero semejantes obras no tienen utilidad alguna para los sabios ya formados; y en cuanto a los que quieren dedicarse al cultivo de las ciencias, los extravían por la falsa simplicidad con que les presentan las cosas; además los estorban, cargándoles el espíritu de una multitud de preceptos vagos o inaplicables, los cuales es menester darse prisa a olvidar, si se quiere entrar en la ciencia y llegar a ser un experimentador” (7).

Como verá el lector, las palabras de Claudio Bernard son tan elocuentes, que huelga todo comentario.

Pero el verdadero punto vulnerable de la lógica formal, es que está basada en una hipótesis metafísica, a saber: Que existen leyes a priori de la razón, y que estas leyes son absolutas, inmutables y eternas.

(6) FRANCIS BACON, *Parasceve*, aforismo IV.

(7) CLAUDIO BERNARD, *Introducción a la Medicina Experimental*.

A este respecto citaré aquí un párrafo revelador, tomado del libro *Lógica y Filosofía de las Ciencias* (8).

“El pensamiento moderno, al contrario, por lo menos desde hace un cuarto de siglo, tiende a insistir sobre el aspecto evolutivo de todas las nociones humanas, de todas las estructuras del espíritu humano, y a subrayar que la razón no puede ser descrita sino en su devenir, en su actividad creadora y renovadora, a través de sus ensayos y etapas sucesivas; y sin aceptar, tal vez, los puntos de vista extremistas de ciertos filósofos contemporáneos, según los cuales nuestros principios racionales están en plena evolución y a punto de sufrir una refundición total con respecto a aquéllos que, clásicamente desde Aristóteles, regían nuestro pensamiento, es por lo menos permitido creer que las reglas de la lógica se deducirán más seguramente de sus obras mismas, es decir, de los trabajos y métodos científicos, que de las definiciones a priori propuestas por Goblot”.

De este párrafo es interesante destacar lo de la evolución de las ideas y lo del devenir de la razón.

En efecto, ¿qué quiere decir esto de que la razón deviene? Pues quiere decir que evoluciona, que no permanece siempre idéntica a sí misma, o dicho con otras palabras, que las pretendidas leyes a priori de la razón no son inmutables ni eternas.

En síntesis, la lógica formal está muy bien, y hasta puede ser útil, mientras no se la tome demasiado en serio. Es decir, mientras no se la considera como algo absoluto e infalible, hasta el punto de que llegue a convertirse en una verdadera atadura para el entendimiento.

Ya decía con mucha razón Aristóteles que no es posible desatar a quien no cae en la cuenta de que está atado, y a quien no es posible hacer caer en la cuenta de que lo está.

El adelanto de la ciencia no es, ni ha sido nunca, comparable a la marcha de un tren guiado por seguros rieles de la lógica formal. Muy al contrario, ha sido una eterna lucha contra el sentido común y contra los principios establecidos a priori, aun contra aquéllos que parecían más sólidamente fundamentados.

Y, a propósito del sentido común, abriré aquí un paréntesis, pues me viene a la memoria la agudísima reflexión con que empieza Descartes el *Discurso del Método*:

“No hay nada tan bien repartido en el mundo como el buen sentido; cada cual piensa que lo posee en tan elevada proporción que aun aquellas personas más difíciles de contentar cuando se trata de cualquier otra cosa, se sienten satisfechas con el que les ha tocado en suerte y, por lo general, no desean aumentarlo”.

Los hombres de ciencia modernos son, por lo general, muy escépticos en lo que se refiere a alcanzar la verdad absoluta. Las concepciones que en un tiempo parecieron ser el más alto exponente de la razón, resultan ridículas para las generaciones futuras. E inversamente, ciertas ideas geniales que en su tiempo fueron consideradas como extravagantes locuras, han llegado a ser el pensamiento común de la posteridad. Cuando Copérnico escribió su famosa obra *De revolutionibus Orbium Caelestium*, no se atrevió a publicarla por temor de que sus contemporáneos lo tildaran de loco. Cuando al fin se decidió a publicarla a instancias de sus amigos y el libro vio la luz pública, Copérnico estaba ya en su lecho de muerte. ¡Qué le importaban ahora las críticas de sus contemporáneos!

Dice Will Durant en su *Historia de la Filosofía* que “ante la lógica, siem-

(8) FRANÇOIS GREGOIRE, Paris, 1953.

pre se experimenta el deseo de hacer lo mismo que Dante recomendó a Virgilio ante aquéllos que se condenaron por culpa de su incolora neutralidad: No pensemos más en ellos, ¡míralos y sigue!”

Tomemos ahora la segunda pregunta, relativa a la extraña y equívoca dualidad de la Matemática.

Esta inconcebible dualidad solamente existe para quien todavía cree que la Matemática es la ciencia de la verdad necesaria y absoluta. Pero en realidad, la Matemática en sí, como cuerpo de doctrina abstracto, no es ni cierta ni falsa, sino que su verdad es puramente formal. El resultado de esta situación es que el papel que juega la Matemática en la Física es meramente instrumental. A nadie se le ocurriría preguntar, por ejemplo, si el instrumental de una sala de cirugía, o la maquinaria de una industria, son ciertos o falsos en sí, porque esto no tiene sentido. Pero se podría preguntar si son operantes o inoperantes, y esto mismo es lo que puede preguntarse acerca de la Matemática.

Pero reprocharle a la Matemática que sirva indistintamente para elaborar una teoría absolutista o relativista, es como reprocharle a las herramientas de un carpintero que sirvan indistintamente para fabricar una cuna o un ataúd.

Tomemos ahora la tercera pregunta, que es en realidad la más importante y la que dará lugar a más amplias explicaciones.

No fue ningún espíritu diabólico ni tampoco un prurito de esnobismo lo que indujo a Einstein a concebir y desarrollar la teoría relativista. Hemos visto ya cómo, con el correr de los siglos, el clima filosófico habíase tornado favorable a tales concepciones. Pero Einstein no era un filósofo profesional, sino que era un físico. Y fueron las necesidades imperiosas de la Física las que hicieron cambiar el rumbo del pensamiento científico. Y digo “del pensamiento científico” en general, y no solamente del pensamiento de Einstein, porque él no estaba solo en esta empresa. Y de paso, cabe destacar aquí su intachable probidad intelectual; jamás se arrogó nada que no le perteneciera, y en sus libros muestra siempre gran estimación y respeto por el trabajo de sus colegas.

He dicho antes que la teoría relativista surgió como resultado de imperiosas necesidades de la Física. En efecto, con el correr del tiempo, el imponente edificio de la Física clásica había comenzado a agrietarse. No eran muchas estas grietas, pero resultaron ser peligrosas y, a la postre, causaron la ruina del edificio.

## EL PRINCIPIO CLASICO DE RELATIVIDAD

En primer término, es interesante señalar que, ya dentro de la Mecánica newtoniana existía un cierto fermento de relativismo que no pasó inadvertido. Es lo que se conoce con el nombre de principio clásico de relatividad, y está implícitamente contenido en la primera ley de la Mecánica formulada por Newton: el principio de inercia. Este principio postula la imposibilidad de distinguir, por métodos mecánicos, el reposo y el movimiento rectilíneo y uniforme. Dicho en otras palabras, que, mecánicamente hablando, el reposo y el movimiento rectilíneo y uniforme son idénticos. Además, todos los sistemas de coordenadas en movimiento rectilíneo y uniforme unos con respecto a otros, son mecánicamente equivalentes.

Ya en los *Diálogos Acerca de los Dos Grandes Sistemas del Mundo* de Galileo (segunda jornada) aparece, entre otros ejemplos, el de un barco que se desplaza con movimiento rectilíneo y uniforme con respecto a la tierra firme, sobre las aguas

tranquilas de un lago. En el interior de ese barco todos los fenómenos mecánicos suceden exactamente de la misma manera que en la tierra firme. Por ejemplo, el hilo de la plomada marcará siempre la dirección de la vertical, y un objeto que se deje caer seguirá la dirección de la plomada; es decir, seguirá una trayectoria rectilínea. Sin embargo, esa misma trayectoria, observada desde tierra firme será parabólica. Inversamente, la trayectoria de un grave que se deje caer en tierra firme, será rectilínea si se la observa desde allí, y parabólica si se la mira desde el barco. Los observadores que viajan en el barco no pueden, por ningún procedimiento mecánico, darse cuenta de su propio movimiento, y juzgarán que son ellos quienes están en reposo y que es la tierra firme la que se desplaza con movimiento rectilíneo y uniforme; pero igual cosa les ocurre a los que están en tierra firme, de manera que puede uno preguntarse: Si la verdad ontológica es unitaria ¿cuál de los dos tiene razón? Esta pregunta no puede ser contestada, porque los conceptos de reposo y de movimiento rectilíneo y uniforme son esencialmente relativos aun dentro de la Mecánica clásica; lo cual equivale a decir que, por lo menos en este caso, la verdad ontológica no es unitaria.

El principio clásico de relatividad constituye un antecedente de la teoría de la relatividad, pero no puede decirse que fuera una grieta en el edificio de la Física.

Las grietas comenzaron a aparecer cuando se descubrieron ciertos fenómenos enigmáticos que no podían ser explicados a la luz de las teorías ya establecidas y aceptadas.

Veamos cómo sucedió esto.

## LA LEY DE COMPOSICION DE VELOCIDADES

Uno de los principios básicos de la Mecánica tradicional es la ley de composición de velocidades, que puede explicarse en términos muy sencillos de la manera siguiente:

Imaginemos un pequeño automóvil de juguete colocado sobre una banda de lona puesta en un piso horizontal; supongamos, además, que nuestro auto se desplaza a lo largo de la banda con una velocidad constante que supondremos, para fijar las ideas, de dos metros por segundo. Si la banda está inmóvil con respecto al suelo, la velocidad del vehículo será la misma, ya sea que se la considere con relación a la banda o con relación al suelo. Pero si hacemos moverse al banda a una velocidad de dos metros por segundo con respecto al suelo, en la misma dirección y sentido en que se mueve el auto, entonces la velocidad del vehículo con respecto al suelo será de cuatro metros por segundo. Si, por el contrario, hacemos moverse la banda en sentido opuesto al del auto, pero siempre con la misma velocidad de dos metros por segundo, la velocidad del vehículo con respecto al suelo será nula.

Dicho de otra manera, las velocidades de igual dirección se suman o se restan (según tengan igual u opuesto sentido) siguiendo las mismas reglas que emplean los niños de escuela para sumar granos de maíz o tapitas de kola.

Como puede ver el lector, la clásica ley de composición de velocidades de igual dirección, es una consecuencia inmediata del axioma de que dos y dos son cuatro.

Es conveniente señalar que la ley de composición de velocidades no es un principio propiamente mecánico, sino que es un principio puramente cinemático. Y para que el lector pueda apreciar claramente esta diferencia, recordaremos aquí que la Cinemática es la ciencia que estudia el movimiento, pero considerado en sí mismo, es decir, independientemente de las causas que lo producen. La Mecánica propiamente

dicha, en cambio, estudia la relación de causa a efecto entre fuerza y movimiento. Los únicos conceptos que intervienen en Cinemática son los de espacio y tiempo, y con ellos la Cinemática elabora los conceptos de velocidad y aceleración. Se ha dicho con mucha propiedad que la Cinemática es la Geometría del movimiento. Y esta definición hace ver con mucha claridad que la Cinemática, así contemplada, viene a ser una rama de las Matemáticas. Dicho en otras palabras, la Cinemática—y junto con ella el principio de composición de velocidades—representa el aporte de la razón pura al edificio de la Mecánica clásica.

Pues bien, fue precisamente por aquí, por el principio de composición de velocidades, por el aporte de la pretendida razón pura, por el axioma de que dos y dos son cuatro, por donde comenzó a resquebrajarse el edificio de la Mecánica clásica.

Vemos pues, una vez más, que no es la razón pura la que le dicta sus leyes a la naturaleza, sino que es más bien ésta última la que poco a poco va modelando las estructuras de la razón.

### ENTRA EN ESCENA LA VELOCIDAD DE LA LUZ

La regla clásica de composición de velocidades marchó muy bien mientras las velocidades consideradas fueron las de los cuerpos terrestres o celestes. Pero el asunto se embrolló totalmente cuando entró en juego la velocidad de la luz. Aquí, la Física se metió súbitamente en un callejón sin salida; y para sacarla de allí, el joven físico Alberto Einstein, a los 26 años de edad, en el año 1905, inventó su formidable síntesis relativista.

Pero veamos cómo fue que la Física se metió de pronto en un callejón sin salida:

El astrónomo inglés James Bradley había descubierto en el año 1725 el fenómeno de la aberración de la luz, a causa del cual las estrellas fijas parecen describir en el cielo, en el término de un año, pequeñas elipses cuyo eje mayor tiene, para todas ellas, una amplitud angular de  $41''$ . El mismo Bradley dio una explicación muy satisfactoria de este fenómeno en el año 1728, basándose en la hipótesis de la inmovilidad del éter y en el principio clásico de composición de velocidades. Las velocidades que entraban en juego en los cálculos de Bradley eran la velocidad de la luz (300.000 kms. por segundo) y la velocidad de traslación de la Tierra alrededor del Sol (30 km. por segundo). Los cálculos realizados por Bradley con base en las hipótesis mencionadas coincidían tan bien con los hechos experimentales, que el fenómeno de la aberración de la luz podía ser considerado como una prueba experimental de la inmovilidad del éter, y también como una prueba de la validez universal del principio de composición de velocidades.

Ahora bien, entre 1880 y 1881 el genial físico experimental norteamericano Alberto Michelson realizó un experimento de capital importancia, que tenía por objeto medir la velocidad de traslación de la Tierra con respecto al éter. Las hipótesis básicas del experimento de Michelson eran las mismas admitidas por Bradley, a saber: la existencia de un éter inmóvil con respecto al espacio absoluto, y la validez universal del principio de composición de velocidades.

Medir la velocidad de la Tierra con respecto al éter significaba, pues, medir su velocidad absoluta, y probar experimentalmente la existencia del espacio absoluto.

La experiencia se llevó a cabo con un instrumento de una precisión fantástica inventado por el mismo Michelson, que se llama el interferómetro de Michelson.

Pues bien, el resultado del experimento fue la cosa más desconcertante que pueda imaginarse: La velocidad de la Tierra con respecto al éter resultó ser nula.

El experimento fue repetido muchas veces a diferentes horas del día y en distintas épocas del año, y el resultado fue siempre el mismo. Luego fue repetido por otros experimentadores en otros países, con instrumentos de mayores dimensiones y contruidos con distintos materiales, y el resultado fue siempre negativo.

Vemos, pues, cómo hay razón para decir que la Física se metió de pronto en un callejón sin salida. En efecto, nos hallamos en presencia de dos hechos experimentales y, sin embargo, contradictorios. Por una parte, el fenómeno de la aberración luminosa que se explicaba por la inmovilidad del éter y el desplazamiento de la Tierra; y por otra, el experimento de Michelson que nos dice que la Tierra está inmóvil con respecto al éter, o bien, que éste es arrastrado por la Tierra en su movimiento.

Cuando Michelson realizaba su famoso experimento, Einstein tendría apenas algo más de un año de edad. Veinticinco años después, habría de asombrar al mundo entero con la teoría más ingeniosa, y espectacular que hasta entonces registrara la historia de la Física.

\*

\* \*

El postulado básico de la Mecánica relativista es el siguiente: La velocidad de propagación de la luz en el vacío, tiene el mismo valor para todos los sistemas de coordenadas que se encuentran en movimiento rectilíneo y uniforme unos con respecto a otros.

Ahora bien, este postulado sería imposible si el espacio y el tiempo fueran absolutos; de manera que en dicho postulado está implicada la relatividad del espacio y del tiempo.

Además, es fácil ver que el postulado mismo constituye una negación del principio clásico de composición de velocidades. O sea que, de acuerdo con la Mecánica relativista, las velocidades de igual dirección y sentido no se suman como los granos de maíz o las tapitas de kola.

Pero, se preguntará el lector: ¿Cómo se suman entonces? Pues se suman de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$U = \frac{V + W}{1 + \frac{V \cdot W}{C^2}}$$

En esta fórmula, V. y W son las velocidades componentes, U es la velocidad resultante y C la velocidad de la luz.

Esa fórmula pone en evidencia dos hechos importantes, a saber: 1º, Que la velocidad de la luz juega en la teoría relativista el papel de una velocidad límite, o sea que, de acuerdo con la relatividad, no puede haber cosa alguna en la naturaleza que se mueva con una velocidad superior a la de la luz. En efecto, el lector podrá comprobar con facilidad que: si en la fórmula anterior suponemos que una de las dos velocidades componentes (por ejemplo V) toma el valor C, la velocidad resultante U será igual a C, cualquiera que sea el valor de W.

2º Que cuando las velocidades componentes  $V$  y  $W$  tienen valores pequeños comparados con el de la velocidad de la luz, el término sumado a la unidad en la fórmula anterior resulta tan pequeño, que la fórmula se reduce prácticamente a:

$$U = V + W$$

que es la fórmula clásica. Por donde se ve que la Mecánica clásica juega, con respecto a la Mecánica relativista, el papel de una ciencia de primera aproximación.

## LA RELATIVIDAD EN LA VIDA CORRIENTE

Muchas personas se preguntan por qué motivo la relatividad no tiene influencia alguna sobre la gran mayoría de las actividades de nuestra vida corriente, siendo así que introduce modificaciones tan profundas en nuestro modo de pensar.

Trataré de explicarlo mediante un ejemplo sencillo: Cuando se descubrió que la Tierra es redonda y no plana, tal descubrimiento modificó profundamente las concepciones cosmológicas de la humanidad. Sin embargo, los arquitectos siguieron construyendo sus casas como si las verticales fueran rigurosamente paralelas.

La realidad es que las verticales convergen en el centro de la Tierra, pero esto no tiene ninguna importancia cuando se trata de levantar las paredes de un edificio. Se comprende bien que un arquitecto, al igual que cualquiera otra persona culta, debe estar informado de la redondez de la Tierra; pero cuando se trata de construir una casa, procederá como si estuviera persuadido de que las verticales son rigurosamente paralelas.

Pues algo semejante ocurre con la relatividad. Los términos complementarios que aparecen en las fórmulas relativistas, implican un cambio profundo en nuestras concepciones filosóficas; pero las modificaciones cuantitativas que ellos producen son tan pequeñas en la mayoría de los casos, que no pueden ser puestas en evidencia con los instrumentos de medida corrientes.

Sin embargo, hay un dominio en que sí pueden comprobarse las predicciones relativistas, y es el dominio de la Física atómica; porque las velocidades que pueden adquirir los átomos son de un orden de magnitud comparable al de la velocidad de la luz.

La importancia de la relatividad consiste en que la interpretación relativista del mundo físico ha permitido prever fenómenos y hechos físicos que eran inconcebibles a la luz de la interpretación clásica. El filósofo y matemático francés Nicod, ilustra este hecho con la pintoresca comparación siguiente:

Todos hemos visto, cuando niños, esos rompecabezas gráficos que consisten en cuadros que representan cosas que no se descubren a primera vista. Por ejemplo, un cuadro de un pastor sentado debajo de un árbol, con una inscripción que dice: Este pastor ha perdido seis ovejas, ayúdele a buscarlas. Mirando el cuadro de cierta manera, comienza uno a descubrir las figuras de las ovejas entre las ramas del árbol o entre los pliegues de la ropa del pastor. El cuadro es siempre el mismo, pero la nueva interpretación nos hace ver en él cosas que antes no habíamos visto.

De igual manera, mirando el cuadro del mundo físico a través de la interpretación relativista, los físicos pueden descubrir en él cosas nuevas, que con la interpretación clásica no se podían ver.

## EL MUNDO TETRADIMENSIONAL DE LA FISICA RELATIVISTA

Una de las cosas que más llaman la atención de la gente cuando oye hablar de la relatividad, es el asunto de la cuarta dimensión. Y acerca de este punto, la gente poco informada tiene, en general, ideas muy peregrinas.

En primer lugar, la mayor parte de la gente trata de formarse, acerca de ese mundo tetradimensional de la relatividad, una imagen intuitiva sensible semejante a la que tenemos del mundo tridimensional que nos rodea; porque creen que para entender es necesario imaginar. Pero esto no es cierto, porque se puede entender un concepto matemático, por ejemplo, sin necesidad de que su comprensión racional vaya acompañada de una imagen sensible. Y esto es precisamente lo que sucede con esos espacios de más de tres dimensiones: que son conceptos matemáticos y no realidades sensibles.

Y por cierto que, en Matemáticas, esos espacios o multiplicidades enedimensionales, son historia muy antigua. Lo que no es antiguo es el haberlos introducido en una teoría física que trata de explicar el comportamiento del mundo contingente que nos rodea.

Esos espacios tetra, penta o enedimensionales, pueden ser representados por medio de ecuaciones, y sabremos acerca de ellos lo que sus respectivas ecuaciones nos digan. El matemático puede "ver" esos espacios con sólo mirar sus ecuaciones, en una forma semejante a como el músico puede "oír" una sinfonía con sólo mirar la partitura.

Pero, se preguntará el lector: ¿Por qué motivo, para explicar las contingencias de un mundo tridimensional se echa mano de otro mundo tetradimensional?

La respuesta es sencilla: Porque la plenitud de un mundo tetradimensional ofrece al matemático insospechadas posibilidades de realización, que no puede ofrecerle el menguado mundo tridimensional en que vivimos. Muchas cosas que son imposibles en un mundo de tres dimensiones, resultan posibles en un mundo de cuatro.

En todo caso, la multiplicidad tetradimensional de la relatividad, es algo muy diferente de lo que uno se podría imaginar. En esa cuarta dimensión de que tanto se habla, están comprometidos: el tiempo, la velocidad de la luz y la raíz cuadrada de menos uno.

¡Ya comprenderá el lector si hay esperanzas de formarse una imagen sensible de semejante espacio!

Y para terminar con este punto, deseo referirme a una idea muy singular que se oye decir a veces por ahí. Algunas personas han encontrado en las ideas relativistas una excelente solución para los enigmas del espiritismo. Porque —dicen— ¿Por dónde introducen los espíritus sus "aportes" en un recinto cerrado? La respuesta es sencilla: los introducen por la cuarta dimensión.

A mi entender, la relatividad no suministra base científica para semejantes especulaciones.

## EL TESTAMENTO DE EINSTEIN A LA HUMANIDAD

No quisiera terminar estas meditaciones sin decir algo en elogio del grande hombre que fue Alberto Einstein. Pero creo que el mejor homenaje que le podemos rendir, es oírlo a él mismo.

He escogido para esto uno de sus últimos escritos, que ha sido considerado como el testamento de Einstein a la humanidad.

## “LA RESPONSABILIDAD DEL INTELLECTUAL

(Trágica denuncia de Einstein)

“El hombre de ciencia tiene hoy un destino trágico. Mediante esfuerzos casi sobre-humanos y sostenido por la aspiración hacia la claridad y la independencia interior, ha forjado las armas de su esclavitud social y el aniquilamiento de su personalidad. El poder político casi le pone un bozal. Se le trata como soldado, obligándosele a sacrificar su propia vida y a destruir la de los demás, pese a que pueda estar convencido de lo absurdo de semejante sacrificio. Tiene clara conciencia de que los Estados nacionalistas pretenden ser los pilares de la potencia económica, política y militar; este hecho tendrá que conducir al aniquilamiento de todo.

“El intelectual sabe que sólo la supresión de los métodos de fuerza por una ley internacional puede aún salvar a los hombres. Empero, ha llegado a aceptar, como un destino ineluctable, la amenaza de sujeción. Más todavía, se le constriñe a contribuir al perfeccionamiento continuo de medios de destrucción universal.

“¿Debe el hombre de ciencia prestarse a tamañas bajezas? ¿Se han ido los tiempos en que la libertad intelectual del sabio, la independencia de sus investigaciones, podían iluminar y enriquecer la vida humana? ¿Hase olvidado aquél, en su búsqueda ciega por la verdad científica, de su responsabilidad humana y de su dignidad?

“Si el hombre de ciencia encontrase ahora el tiempo y el coraje de pesar su situación y de juzgar su tarea con espíritu crítico, decidiéndose a obrar consecuentemente, podría entonces renacer la esperanza y presentarse una solución razonable a la dramática situación del mundo. No podemos cejar en nuestras advertencias, ni ahora ni nunca; no podemos desistir de nuestros empeños a fin de que las naciones del mundo, y sobre todo sus gobiernos, se den cuenta del desastre inaudito que seguramente provocarán, si no cambian su actitud recíproca y su modo de concebir el futuro.

“Nuestro mundo está amenazado por una crisis cuya amplitud parece que escapa a quienes tienen el poder de grandes decisiones para bien o para mal. La energía desencadenada del átomo ha cambiado todo, excepto nuestro modo de pensar, y nos deslizamos hacia una catástrofe sin precedentes. Una nueva forma de pensar es esencial si la humanidad quiere sobrevivir.

“El problema más urgente de nuestra época es detener esa amenaza. En el momento—aguardo este momento grave—aullaré con todas las fuerzas que me quedan”.

\*

\* \*

Einstein nació en Ulm el 14 de marzo de 1879. Y el 14 de abril de 1955, en Princeton, pasó definitivamente a la inmortalidad.