

CAPITULO IV

LA NOCION DEL TIEMPO

§ 15.—PREHISTORIA DE LA CUESTIÓN DEL TIEMPO

(Instintos e inteligencia — la línea humana — la lucha entre instintos e inteligencia — sensación y fenómeno físico — problemas imposibles— la prioridad de Czolbe)

La noción de tiempo es un instinto también. Nadie ha confesado tan abiertamente esta verdad inefable como *San Agustín*, en cuyas confesiones se hallan tantas otras notables observaciones psicológicas: “Si nadie me pregunta qué es el tiempo, yo lo sé perfectamente; pero si quiero explicarlo no sé nada”, dice, declarando con esto muy gráficamente, que todo lo que sabe, lo sabe por instinto y no por inteligencia.

Que en verdad la sensación del tiempo nada tiene de la claridad de un conocimiento intelectual, sino que es uno de los instintos más primitivos, paréceme deducirlo ya del hecho bien conocido de que se avalúa en general mejor la duración del tiempo durmiendo, es decir inconscientemente, que conscientemente.

Existen bastantes hechos que nos prueban que, adormecida la inteligencia, los instintos recobran sus fuerzas: el sonámbulo anda por sitios peligrosos donde una persona despierta no se arriesga; el borracho y el niño al caer, se hacen menos daño, porque siguen sus instintos primitivos y no tratan de impedir la caída con su inteligencia; en una habitación por la que yo pasaba a menudo en plena oscuridad, solía acertar el picaporte, sin darme cuenta y no, cuando ensayaba contar mis pasos, etc.

Los instintos son reflejos inconscientemente adquiridos y maravillosamente adaptados a las necesidades del ambiente. No es necesario describirlos: las obras de *Forel* y *Favre* que demuestran-

nos sus estupendos efectos en las abejas y hormigas, están en las manos del público instruido; se sabe que la orientación de las aves peregrinas es mejor que la de un marinero sin brújula, y la previsión del futuro más exacta entre los insectos que entre los meteorólogos. En los vertebrados, con el aumento de la inteligencia los instintos comienzan a retroceder para desaparecer, aparentemente, casi por completo en la humanidad, donde desempeñan un rol ostensible solo en la primera infancia. Tal substitución mutua de las dos facultades mentales es característica; existe un antagonismo entre los instintos y la inteligencia, de los cuales la inteligencia significa ciertamente un estado de mejor y más amplio equilibrio orgánico. Mudando de ambiente el instinto muchas veces ya no sirve para nada, como v. gr. el animal que por instinto evita el acónito, muere trasladado a otro país donde crece el matavacas.

Con la inteligencia el animal puede adaptarse también a nuevas condiciones, solo que esto se logra a costa de los viejos instintos, tan útiles para la vida cotidiana. La inteligencia ha intervenido tantas veces en el engranaje mecánico de los reflejos instintivos, que al fin el mecanismo no marcha, como antes, por sí mismo. Esto es exacto también con respecto al tiempo: la simple y verdadera noción amíblica del tiempo, que consiste en la sensación de una vegetabilidad uniforme, nosotros la conocemos únicamente en el sueño o mejor dicho la conocen nuestros centros nerviosos, llamados subcorticales, en los cuales se forman las nociones inconscientes. La reconoceríamos también en la vigilia, pero la inteligencia con sus impresiones variadas perturba el instinto y no le permite seguir su experiencia profunda; de modo que, inhibida por el sueño la corteza cerebral, que es en su totalidad la sede principal de la inteligencia, se conoce mejor el tiempo y se despierta a la hora predeterminada, lo que nos sería imposible con la plena conciencia mental.

Este tiempo instintivo de los sentidos basta para la vida práctica, estando maravillosamente adaptado a ella; pero no debe seducirnos la adaptación perfecta hasta ver en un fenómeno instintivo un acto y un efecto de la inteligencia. Se podría probar fácilmente que la inutilidad de los esfuerzos realizados para subordinar a una determinación científica este objeto, aparentemente simple, consiste en que se trabajaba en un objeto inadecuado.

La inteligencia puede ocuparse sin embargo del tiempo; pero debe determinar primeramente su objeto, es decir buscar señas no sensoriales del tiempo. Es lo que la ciencia comienza a realizar,

después de haberlo abandonado por miles de años a los instintos y a los filósofos. Este tiempo de la inteligencia será otra cosa, será algo del cual vemos en el momento presente el primer arrebol, será menos cómodo pero más claro y más duradero; ya que el proceso de la humanización consiste en reemplazar los instintos por la inteligencia, la victoria de la inteligencia corresponde a nuestra finalidad ⁽¹⁾ natural y es un paso necesario en la línea biológica de nuestra especie. La inteligencia no es todavía lo bastante perfecta para substituir completamente a los instintos, que procuraban al animal su envidiable tranquilidad. La vieja edad de oro de una armonía natural e instintiva ha sido destruída para siempre; vivimos en el interregno de la lucha inevitable; la nueva edad de oro de una armonía humana no puede llegar de otro modo que con la victoria incondicional de la inteligencia. Huelga añadir que la palabra lucha no incluye el antagonismo irreductible entre animalidad instintiva y humanidad inteligente, que sancionado por *Bergson* tanto se aprecia hoy; no sería justo atribuir al instinto exclusivo juego en los pisos bajos de la vida práctica y reservar a la inteligencia la vida superior. Hay lazos íntimos entre la vida instintiva y la intuición genial (instinto e intuición significan en su origen lo mismo, — ver mi trabajo sobre las isopsicas en la revista de la Universidad de Córdoba, del año 1923); además falta un límite neto, y es posible por eso en vez de lucha hablar de una mejor adaptación del instinto a los cambios del ambiente, de su aclaración por la luz de una mutua colaboración de todos los sentidos, o de su orientación hacia fines adecuados a las nuevas condiciones de la humanidad. Pero ¿cómo se lo llamará aún? cierto es que la humanidad en realidad progresa en el sentido de la inteligencia, ⁽²⁾ aunque está aún lejano el día del triunfo definitivo y el entendimiento tenga hoy escasa influencia sobre nuestra vida, lo que se comprueba entre otros en el hecho lastimoso de que contra el nuevo tiempo se rebelan siempre todos los viejos instintos. No se sabe bien

(1) Para la significación de la palabra "finalidad" ver el último capítulo.

(2) Para valorizar este lentísimo progreso debe recordarse que las facultades mentales varían individualmente por unos veinte por ciento (excluidos los genios y los idiotas), mientras han crecido en el promedio solo por uno por ciento en veinte mil años. No es por eso una objeción veledera contra el progreso intelectual de la humanidad el hecho de que la mayoría de los modernos sea indudablemente mucho menos inteligente de lo que fueron los grandes varones de la Grecia. Es posible, pero no comprobado, que en los últimos tiempos el progreso se haga un poco más rápido.

si la oposición turbulenta en Alemania malquería a *Einstein* como sabio que irritaba a los instintos vulgares tiempo-espaciales, o como pacifista que se oponía a sus belicosas aspiraciones.

No se sabe y no se sabrá jamás, porque en el fondo es lo mismo: la rebeldía de los instintos contra la inteligencia triunfante, el odio del animal contra el hombre.

El tiempo es uno de esos viejos instintos. No hay duda de que la sensación que tenemos del tiempo es exclusivamente subjetiva, La misma duración parece al aburrido, larga, al infeliz o interesado corta. Sabemos que la sensación es engañosa, y sin embargo creemos que nos da la verdadera forma de todas las otras nociones empíricas; sabemos que lo que sentimos no existe y no obstante lo consideramos como prototipo de una realidad objetiva. Sensorialmente estamos forzados a hacerlo así; y sensorialmente la existencia del tiempo debe ser un axioma.

No es dable dudar, naturalmente, de que existe algo que provoca en nosotros el sentimiento del tiempo; la cuestión está en saber si este "algo" se asemeja más a nuestro tiempo objetivo que las vibraciones luminosas a lo que llamamos color y que no tiene evidentemente ninguna semejanza con la realidad. Se ha dicho que se puede hacer abstracción de todo: de los colores, de la substancia etc., y que resta entonces el espacio y el tiempo de los cuales no podemos hacer abstracción y que tienen por eso más realidad que todos los otros fenómenos que serían solo fenomenales. El hecho es innegable, pero como el tiempo es la sensación de la vida misma, y el espacio nada más que la sensación de "algo fuera de nuestro cuerpo" (ver el Cap. I.) claro está que ningún ser vivo se puede abstraer sensorialmente de ellos, puesto que para poderse abstraer, debe vivir, y para vivir, tener un cuerpo; pero el hecho de que tiempo y espacio sean sensaciones *inevitables* no prueba que sean algo *más* que sensaciones. Las palabras de *Kant* según las que tiempo y espacio son las formas bajo las cuales se percibe el mundo, pueden aceptarse bien; pero de estas palabras no es posible deducir tampoco algo positivo. Además, leyendo a *Kant*, no he podido descubrir lo que él deduce: ¿la subjetividad o la objetividad? Ignorancia que no es culpa mía forzosamente, pues entre los kantianos hay quienes hallan en las obras de *Don Manuel* la prueba de un tiempo objetivo, otros la de un tiempo subjetivo, y también quienes prefieren el tiempo kantiano justamente porque es objetivo y subjetivo a la vez. Creo que los últimos han comprendido mejor a *Kant*; pero no veo en ello razón de preferencia.

¿Qué provecho obtengo de la más profunda filosofía si solo me enseña que puedo ver las cosas como quiero?

La idea en sí de que hay un tiempo (y un espacio) subjetivo y objetivo no es absurda. Al contrario, es evidente que existe una sensación temporal subjetiva y además algo desconocido que es la causa de esta sensación. Pero lo uno es una sensación, lo otro un fenómeno físico; son dos cosas completamente distintas y no debe ensayarse explicarlas de un modo idéntico.

La *sensación* del tiempo no llegará a explicarse de ningún modo; podemos seguir su desarrollo filogenético, demostrar su utilidad para los seres vivientes, pero así como no logramos explicar por qué el rojo no nos parece verde, no lograremos de ningún modo explicar por qué el espacio no nos parece tiempo y el tiempo espacio. Lo que es subjetivo, no pertenece a la física, y es del todo superfluo y aún nocivo en una explicación física. Para explicar el tiempo físicamente debemos preguntarnos al contrario qué sabemos del tiempo, además de lo que nos parece como tiempo. Sucede lo mismo que tratándose de la luz: lo principal es conocer otras propiedades, además de que la luz parece luciente a los hombres.

Podría objetarse que esto es una renuncia espontánea de la ciencia, una concesión al agnosticismo; pero no hay tal cosa: comprobando la imposibilidad de la cuadratura del círculo, la cuestión dejó de ser un problema, y nadie dudará de que la afirmación negativa es un progreso positivo. Asimismo, desde que sabemos que los colores son solo subjetivos, mientras las vibraciones son reales, el problema del rojo se ha reducido al de las vibraciones y en verdad el físico ya no se ocupa del rojo. Y lo mismo, si llegamos a saber lo que *en verdad* es el tiempo, el tiempo *subjetivo* no nos perturbará más. Para alcanzar tal fin no basta afirmar que no sabemos nada del tiempo como hacen los escépticos; sino que es preciso determinar lo que sabemos. Lo inoportuno en *Kant* no fué el haber distinguido el tiempo subjetivo y objetivo, (lo que ha hecho menos claramente que otros) sino que quiso resolver conjuntamente los dos aspectos del problema. El único camino viable está en resolver el problema físico por sí solo.

Mientras los filósofos discutían, los matemáticos habían descubierto la geometría no euclidiana, demostrando que matemáticamente eran posibles espacios de cuatro dimensiones y aún más. De esta *posibilidad* nadie dudaba, pero tampoco se creyó, en general, que ella podía ser una *realidad*.

Con este descubrimiento se abrieron nuevos horizontes: no

hubo antes ninguna posibilidad de adivinar las relaciones reales entre el tiempo y el espacio. Era posible únicamente, y lo han hecho muchos, ver en el tiempo algo como un movimiento; pero ahora ha aparecido entre todas estas combinaciones que la especulación solía variar, la del tiempo-espacio tetradimensional. Claro que pronto se halló un defensor: ya en el año 1875 cuando esas nuevas doctrinas acababan de vulgarizarse por el discurso popular de *Helmholtz* sobre el origen y la significación de los axiomas de la geometría, *H. Czolbe* sostenía que el tiempo era la cuarta dimensión del espacio y que solo en este conjunto existe el tiempo, pero no por sí solo.

Son casi las mismas palabras que cuatro decenios más tarde repetiría *Minkowski*. ¿Cómo se explica que en 1875 nadie les prestase atención, mientras que en 1912 entusiasmaban al mundo? Únicamente porque, entre tanto, *Einstein* había dado datos positivos! Lo que en 1875 fué simple conjetura, no más autorizada que mil otras opuestas, volvíase en 1912 la consecuencia necesaria de los hechos!

El mundo ha olvidado a *Czolbe* y aún esta mención de su prioridad no le beneficiará mucho. Creo que este olvido es justificado, pues *Czolbe* fué solo la personificación de los cinco por ciento de la fábula de los erizos que habían apostado a la verdad (en este caso no eran ya cinco sino solo uno). Fué una de las ondas originada necesariamente por la piedra que *Lobachefski* había tirado en el pantano de la especulación; Nada más!

La historia del tiempo como cuarta dimensión del espacio comienza solo cuando el primer hecho físico lo señala. Pero para comprender la historia que trataremos más tarde será conveniente ver las dimensiones aún bajo otro punto de vista que en el capítulo anterior.

§ 16.—LA COMPOSICIÓN DE LAS DIMENSIONES

(Valor sensorial y real de las dimensiones — La energía vista como volumen — La contingencia del número de las dimensiones — Los hechos bidimensionales y el nexa causal — El desarrollo histórico de las coordenadas usuales)

Conocemos ya las dimensiones, como propiedades de los cuerpos intuitivamente representadas por el largo, alto y ancho; pero como tales no son más reales que el espacio mismo, y desaparecerían, si el espacio dejara de existir. Es decir solo lo que es espacial en ellas depende del espacio. Esto no es todo; existen además

ciertas consecuencias y relaciones físicas, íntimamente ligadas a la *dimensionalidad* de los cuerpos, pero independientes de su formación espacial: un paralelepípedo que es alto de uno, ancho de dos y largo de tres metros, tiene también una resistencia mecánica y eléctrica correspondiente en las tres direcciones; su volumen espacial es de 6 m. cub., pero su peso, que depende en absoluto de estas dimensiones, no es de ningún modo espacial y sería lo mismo con todas sus propiedades físicas, si fuese concentrado en su centro de gravedad. Con ayuda de estas y muchas otras propiedades físicas que están en una estricta interdependencia funcional de las dimensiones, el tamaño y “espacio” del cuerpo se podrían reconstruir, aún en el caso de que la intuición no existiese y aún en el caso de que el espacio fuese solo una ficción sensorial.

Nadie sabe si el espacio y los cuerpos son, como se los ve sensorialmente, o de una configuración totalmente diferente. Pero sí se sabe que las mencionadas interdependencias existen: sea la realidad del espacio y del volumen como fuere, las propiedades físicas y las leyes que las relacionan entre sí, no son alteradas por eso; ellas son en absoluto independientes del aspecto sensorial y representan por consiguiente lo verdaderamente real, lo indiscutiblemente existente.

Tal es el significado de la afirmación de que la fórmula física es lo único real. Del mismo modo se comprenderá por el ejemplo dado que la dimensión, además de su significación sensorial, tiene aún otra más amplia, como condición de un objeto o fenómeno en el mundo real: cada valor que depende de una, dos, tres, cuatro o más variables posee por eso también su correspondiente número de “dimensiones”.

En este sentido las dimensiones son realidades; lo que no es alterado por el hecho de que su agrupación es en ciertos límites arbitraria. Una energía puede ser considerada unidimensional [caloría], bidimensional [masa. velocidad²], tridimensional [gramos. centímetros². segundos.⁻²] etc. La última fórmula nos demuestra que la energía depende, como un volumen, de tres factores variables e independientes, de tres dimensiones que constituyen—en ella como en el espacio— su contenido real.

El hecho de que podamos descomponer sensorialmente el espacio en sus tres dimensiones y la energía no, es psicológicamente de la más grande importancia, porque determina nuestra noción sensorial del mundo; es la consecuencia de la necesidad fisiológica de distinguir el complejo corporal, sacándolo de las innumerables interdependencias que existen en la naturaleza, y dándole cuerpo.

Por el momento basta la constatación de que cada dependencia tiene en sí el mismo derecho a ser considerada dimensionalmente como la dependencia espacial.

Es decir, las dimensiones del espacio tienen aún, prescindiendo de su representabilidad sensorial, una singularidad objetiva que no será superfluo mencionar ya aquí: son cambiables entre sí! Esta posibilidad de substituir cada dimensión del espacio, por otra les es esencial y específica; pues solo el espacio tiene dimensiones iguales. Ello no prueba su realidad en la forma como la sentimos, pero le da una singularidad de que debe ser algo por sí, aunque este "algo" no necesita ser real ni en el sentido sensorial, ni en el científico.

Naturalmente la energía, por ser tridimensional como un espacio, no es por eso espacial; de ningún modo; (como la dependencia espacial tampoco tiene que ser espacial en la forma, como

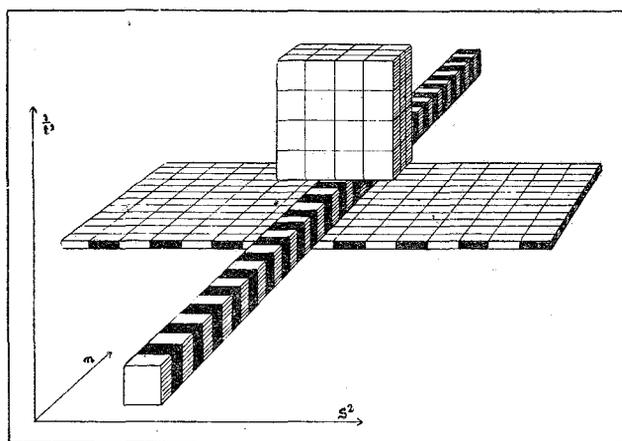


Fig 23. — El mismo "volumen" de energía en tres diferentes formas

forma	masa	tiempo	espacio	$\frac{m}{2}v^2$
cubo	3 gr.	0.5 seg	2 cm.	} 24 erg.
tabla	12 —	2 —	4 —	
prisma	48 —	1 —	1 —	

nuestros sentidos nos la muestran). Pero, puesto que no podemos representarnos otras dimensiones que las espaciales, nos vemos forzados, si queremos representarlas gráficamente, a formarlas o dibujarlas en el espacio. La fig. 23 da un ejemplo de que la misma cantidad de energía, resultante de diferentes masas y velocidades, está representada como un volumen en distintas formas.

Tal representación tridimensional, aunque exacta, es poco gráfica, pues en un plano solo los fenómenos bidimensionales se representan verdaderamente y un volumen dibujado se evalúa mal, y esa representación no es necesaria tampoco, visto que el número de las dimensiones es en general arbitrario: (una energía aparece tridimensional solo si los cuadrados de tiempo y espacio son dibujados como líneas; si s^2 y t^2 se consideran como planos, la energía sería pentadimensional y por otra parte solo bidimensional, sentando como variable el cuadrado de la velocidad).

Aquí el significado de cinco dimensiones y la posibilidad de dar a la misma formación un número variable de dimensiones, se comprenderá mejor que en el párrafo 13 que trataba únicamente del espacio; pues aquí ninguna sensación directa, ninguna creencia innata, por la que se dé ya como bastante conocido el espacio tridimensional, impide o estorba la comprensión. Es un buen ejemplo para mostrarnos cómo las nociones sensoriales dificultan a veces el entendimiento cabal.

Esta libertad de determinar el número de las dimensiones por una adecuada elección de los elementos, existe, como hemos visto, para el espacio también; pero mientras el espacio aparece al hombre en su estado natural como una irrealidad, una sutileza matemática — muchos dirán aun como un juego — en todas las otras relaciones del mundo no tiene para nadie nada de maravilloso, y se usa también en la práctica, porque nos procura *la posibilidad de representarnos todos los fenómenos como hechos bidimensionales* que como tales fácilmente pueden expresarse gráficamente: es un hecho bidimensional en este sentido cualquier fenómeno descompuesto en dos componentes, llamadas también coordenadas, porque están legítimamente coordinadas una a la otra: cambiando una cambia la otra también.

Esta coordinación se dibuja en un plano, representando cada uno de los componentes por una dirección. Por comodidad se usan en general dos líneas que se cortan rectangularmente; pero el valor del ángulo es en sí indiferente. La horizontal se llama abscisa, la vertical, ordenada. Tomando el punto de intersección como cero se aplican a las dos líneas los valores a relacionar. Para dar una idea a los que no están acostumbrados a este método, puede servir cualquier objeto: se sabe p. ej., que si un hombre come mucho, aumenta de peso, si no come nada, disminuye. Si algunos experimentos hechos con este objeto dieran como resultado que el peso de un hombre:

Comiendo por día 0 100 300 600 gr. de alimento
 cambia por día en -400 -100 +100 +200 " de su peso
 se podrían indicar los cuatro puntos en uno de los sistemas de coordenadas (ver la fig. 24). Uniéndolos después los puntos, se obtendrá una línea que será, según la exactitud y el número de las observaciones, la expresión más o menos exacta de la ley buscada. Tal gráfico no solo aumenta la representabilidad sino que nos permite

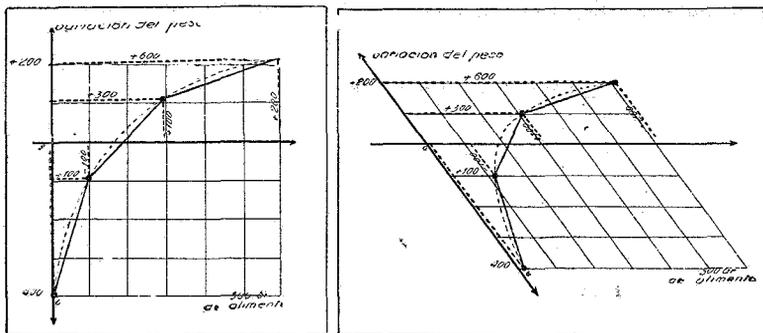


Fig. 24 - Ejemplo de una gráfica con diferentes ordenadas

también evaluar la relación donde no se ha observado directamente. Se ve p. ej. que con una alimentación aproximadamente de 160 gr. el hombre permanecerá en equilibrio. Esta curva representa por eso la ley que relaciona entre sí las dos variables independientes; ella es la expresión de un hecho o fenómeno bidimensional, o dicho de otro modo: es el hecho mismo. Pero naturalmente este hecho no existe aislado en el mundo; cada uno de sus dos factores está por su parte combinado con otros factores a nuevos "cuerpos bidimensionales": si el hombre trabaja mucho, o si los alimentos están mezclados con un laxante, el peso aumenta menos; además, ejerce influencia la comida de los días anteriores, etc.

Principalmente, si se trata de la tan complicada substancia viva, las diversas causas modificadoras son tan importantes, que apenas adivinamos la ley; la naturaleza muerta es más sencilla, de modo que conocemos bastantes leyes, que se creen absolutas, porque con nuestros métodos, que permiten en general solo una determinación hasta la sexta decimal, no podemos constatar errores. Sin embargo aun sabiendo que todo influye sobre todo y que jamás un fenómeno está determinado solo por una relación entre dos dimensiones que hemos elegido, creemos que las leyes de la naturaleza son en todos los casos absolutas, a pesar de las más o menos grandes desviaciones observadas, es decir, creemos

que si fuera posible aislar completamente dos factores, o hacer constantes todas las otras condiciones, la ley aparecería pura. Creemos que dos fenómenos cualesquiera forman un conjunto bidimensional estrictamente determinado. La creencia en la interdependencia real de todos los fenómenos del universo es tan grande que aún la curiosa afirmación de que las constelaciones estelares determinan los sucesos en la tierra, es teóricamente razonable, y el error de los astrólogos consistía solo en que pretendían conocer esta influencia mínima, oculta, entre las otras condiciones infinitamente más fuertes. La interdependencia existe ciertamente: tenemos la firme convicción de que sincrónicamente con cada péndulo de reloj oscila el centro de la tierra en 10^{-27} cm. y con la tierra oscila todo el universo en 10^{-55} cm. ⁽¹⁾. Pero estas distancias — de ningún modo mensurables — son tan pequeñas que pueden considerarse ya como no reales; la afirmación de que un cuerpo se ha movido por la ínfima parte de un electrón no tiene ninguna significación física, puesto que los electrones mismos se mueven en cada momento por distancias incomparablemente más grandes. Es esta una de las consideraciones que hacen casi lógicamente necesario un mínimo del movimiento (en el sentido de los *quanta* de *Planck*).

Pero prescindiendo de estos últimos límites, los físicos sabían muy bien que había influencias que ellos no podían medir — y sin embargo en la práctica esta cosa tan simple se olvidaba siempre: por eso viendo que había fenómenos, principalmente los de la gravedad, y de la masa, del espacio y del tiempo, que aparentemente no estaban relacionados con otros fenómenos, ellos parecían de facto hechos verdaderamente aislados, fenómenos primordiales, no sujetos al nexo causal común de la complejidad de las diversas dimensiones, no coordinados con el resto del mundo y prototipos de una dimensión en sí — cosas absolutas.

Lo más hondo de la teoría de la relatividad consiste en la demostración de que tales fenómenos aislados no existen y que el nexo causal, no es únicamente una consecuencia lógica del razonamiento o una aproximación más o menos probable sino un hecho real. Existe solo una realidad que es el mundo en su totalidad; lo que observamos aisladamente nos parece como tal según nuestros sentidos, pero no lo es, siendo en verdad solo una coordenada que se puede combinar con todo otro fenómeno a un hecho bidimensional, quedando la nueva combinación también como una abstracción

(1) 10^{-27} es una fracción decimal con 27 ceros, 10^{-55} una con 55 ceros.

de lo real: ella misma es una coordenada entre muchas otras. Numéricamente hay grandes diferencias, pero en el fondo no; y la realidad del espacio (prescindiendo de la virtual de los sentidos) no es mayor que la de de cualquier otra relación tridimensional.

Esto es el sentido de las dimensiones.

En general la descripción de las coordenadas se hace de otra manera, comenzando con las espaciales y transfiriéndolas después a los demás fenómenos. He elegido expresamente el camino contrario, porque aproximándose a la noción de las coordenadas del lado general, se comprenderá más fácilmente y ya desde un principio, que las dimensiones espaciales no son algo especial.

Es interesante a este respecto recordar que el desarrollo filogenético (o histórico) seguía el mismo camino. Por primera vez encontramos las coordenadas en la obra de *Nicolás Oresmes* (en el siglo XIV) quien las usaba para la demostración del cambio del calor con el tiempo, es decir, en una forma, en que el tiempo aparece como una dimensión del espacio; de modo que su uso general es más antiguo que su uso especial y puramente espacial. Solo dos siglos más tarde *François Viète* las emplea en su sentido geométrico para la identificación de lugares, y transcurre un siglo más hasta que su uso se vulgarizara después que *Cartesio* y *Fermat* les hubieron dado su forma matemática general.

§ 17.—LAS COORDENADAS

(La orientación práctica — la orientación ordenada — esquema de los planos de una ciudad rectangular — la distancia o el intervalo — el sistema de las coordenadas espaciales — el intervalo tempo-espacial)

Las coordenadas no son más que la sistematizada orientación común. Para determinar un punto el campesino suele decir: “tres cuadras al sur de tal o cual roble”, “al centro del campo del Sr. Fulano” o simplemente “allí donde el año pasado se murió la vaca negra”. Claro que sin conocer previamente la localidad y su historia nadie comprenderá. Quien ha leído “el escarabajo de oro” de *Edgar Poe* sabe que existen muy variadas posibilidades para definir cierto lugar, pero recordará también que con tales métodos complicados es fácil equivocarse! Sin embargo las direcciones usuales de nuestras cartas prueban cuanto se logra con este método; pues con solo cinco designaciones se encuentra la habitación

de cada uno de los dos mil millones de terrícolas: "España, Córdoba, Paseo del Gran Capitán, Nr. 50" basta. El inconveniente está en la necesidad de conocimientos especiales: no hay ni en el nombre del país, ni en el de la ciudad, ni en el de la calle lo más mínimo que indique su lugar; quien lo ignora, tiene que preguntarlo, mientras que una vez llegado a la calle la orientación por sí mismo le será posible, una vez por todas, a quien sepa la serie de las cifras ordenadas entre sí.

Por eso la ciencia que, perfeccionada a su máximo ideal, no requeriría nada que se debiera aprender, pudiéndose deducir todo de un principio por su lógica intrínseca, debía ensayar reducirlo todo a las cifras ordenadas. El resultado de esta reducción son los sistemas de coordenadas, que por su sencillez comienzan ya a introducirse en la práctica. El conocimiento de los millares de calles en grandes ciudades como Londres y París es una ciencia especial que aún los cocheros no conocen siempre. Era natural que las poblaciones nuevas como Mannheim y Nueva York se librasen del residuo de la aldea, designando las calles con números. Las calles tortuosas e irregulares de las viejas ciudades europeas con sus nombres que evocan a menudo tantos recuerdos históricos son más individuales y artísticas, pero las cifras son más generales y prácticas; y como, desgraciadamente, el individualismo y el arte retroceden en toda la línea, no se conservarán eternamente en las calles.

La gran ventaja de la cifra reside en que aún el extranjero sabe donde buscar una dirección. Si además las ciudades, como las de Sud América, están construídas en cuadras regulares y cada cuadra comienza su numeración con una nueva centena, puede también calcular la distancia a recorrer: estando en el número 200 de la calle 4, y buscando el número 1300 de la calle 17, sabe que debe caminar $13 + 11 = 24$ cuadras.

Para poder contar es necesario un punto cero, que es en las ciudades que usan este sistema, en general, una plaza central; de aquí parten cuatro series, de calles en las cuatro direcciones cardinales; pero como hay solo una serie de números, deben buscarse signos para distinguirlas.

El más natural sería la designación de las calles segun las cuatro direcciones del mundo: la 1ª, 2ª... al norte, este, etc., con que se habría logrado ya el sistema de los matemáticos; pues su + y — no difiere en el fondo de las expresiones norte y sur, (el magnetismo p. ej. puede distinguirse también en norte y sur, o en + y —).

La tabla colocada bajo el plano de la fig. 25, donde se ha trazado el centro de una ciudad argentina muestra las varias designaciones equivalentes. En la figura 26 se ve lo mismo en la re-

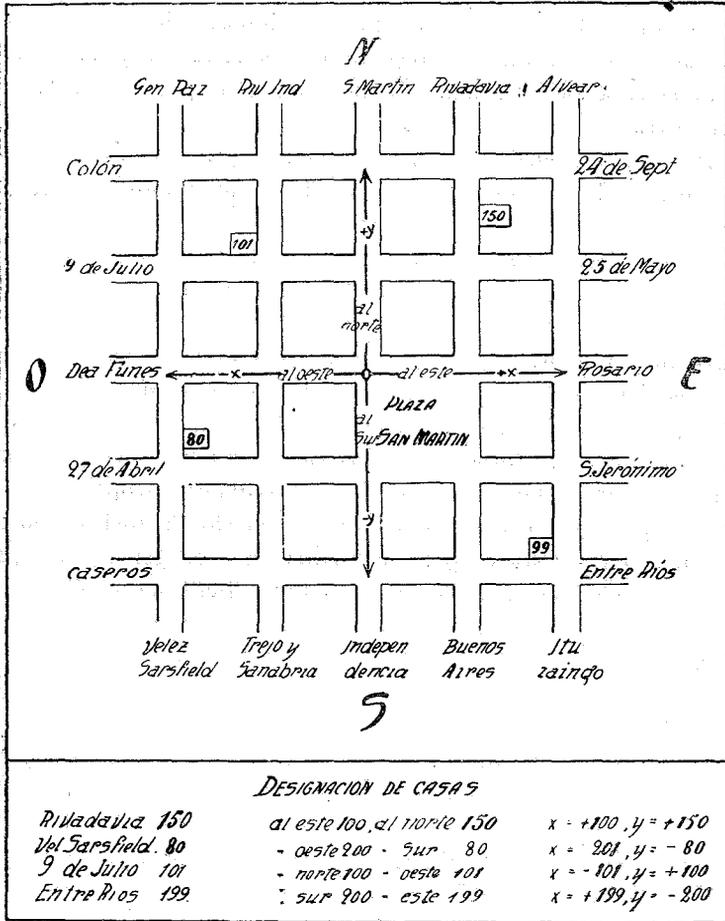


Fig. 25 — El uso práctico de las coordenadas

presentación usual matemática.. Se comprende fácilmente que con la designación de dos lugares por sus ordenadas ($A = 3x, 5y$ $B = 7x, 2y$) — al igual que en la ciudad — su distancia es dada también: para llegar de A a B son necesarios en la dirección $y = 5 - 2 = 3$ cm. y en la dirección $x = 7 - 3 = 4$ cm. Siendo estas direcciones perpendiculares una a la otra, se deduce del teorema de Pitágoras que la distancia directa entre A y B es igual a la hipotenusa del triángulo, es decir $= \sqrt{4^2 + 3^2} = \sqrt{25} = 5$

Esta distancia entre dos puntos, determinada ya con las co-

ordenadas, tiene una significación especial—ella es independiente del sistema de las coordenadas. Sean en la figura 27 A, y B dos

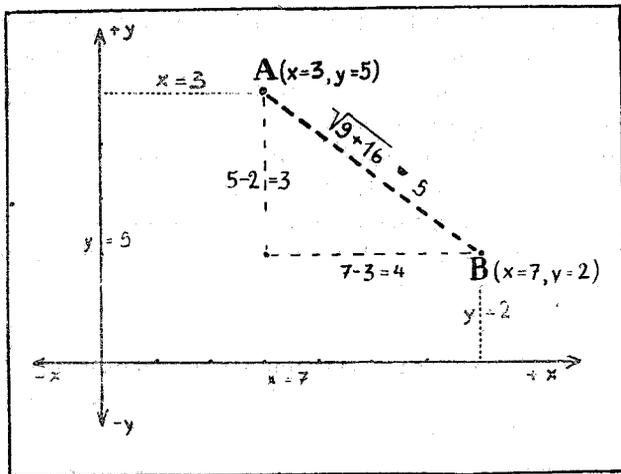


Fig. 26. — La determinación del intervalo en un plano por coordenadas

puntos reales con las ordenadas rectangulares: $A = (x=0, y=8)$ y $B = (x=15, y=0)$, luego su distancia según el teorema de Pitágoras es igual a 17; y es la misma en cualquier otro sistema, aún cuando en este caso las ordenadas son naturalmente otras. Si p. ej. el ángulo fuese $= 95,5^\circ$ y las coordenadas $A = (x=3, y=8)$, $B = (x=13, y=-5)$ como en la fig. 27 B, la distancia quedaría invariablemente $= 17$, como se puede fácilmente calcular con el teorema generalizado de Pitágoras.

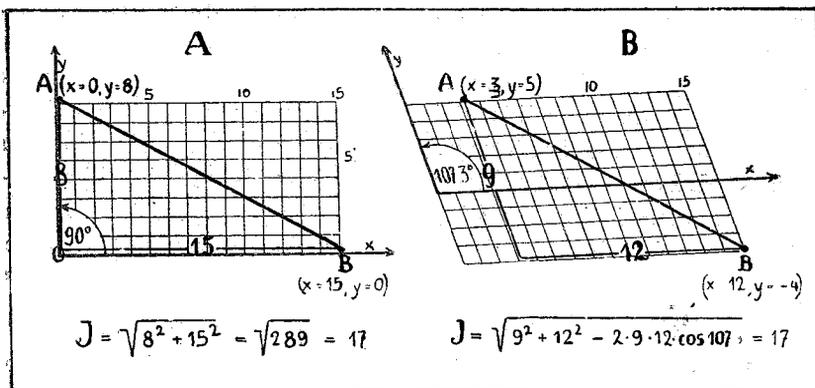


Fig. 27 — La invariabilidad del intervalo en diferentes sistemas de coordenadas.

Esta distancia la encontraremos de nuevo en el tiempo-espacio, donde ella, llamada el *intervalo*, representa una invariable. La relatividad del tiempo y el espacio aislado y el absolutismo del tiempo-espacio consisten justamente en el hecho de que tiempo y espacio pueden cambiar según la posición del observador: análogamente al cambio de las ordenadas en la fig. 27, puede ser que el uno vea una longitud como 8, mientras el otro la ve como 13. Pero entonces ven los tiempos el uno como 15, el otro como 10; de modo que el intervalo entre los dos fenómenos queda igual. Debo detenerme por el momento con esta consideración preliminar, porque para comprenderlo bien será necesario determinar antes cómo tiempo y espacio entran en el mismo sistema de coordenadas.

Pero se comprende ya desde un principio que con la invariabilidad absoluta del intervalo, el mundo físico continúa siendo una cosa enteramente absoluta; — también en la teoría de la relatividad! pues con la distancia todas las otras relaciones son dadas también y pueden fácilmente calcularse. Solo ha cambiado la substancia de lo absoluto: hemos creído que tiempo y espacio fuesen absolutos o invariables; y ahora vemos que ellos no lo son, sino que lo es el intervalo, una magnitud tiempo-espacial y por eso irrepresentable sensorialmente, pero que puede calcularse por sus dos componentes, tiempo y espacio.

De este modo el matemático tiene con sus coordenadas un *esquema* de la realidad con que todo se puede *calcular*, mucho más cómodo y mucho más exacto que lo sensorial en que todo se debe medir. En un triángulo real la comprobación del teorema de Pitágoras, más allá del tercer decimal será ya difícil y al fin imposible, mientras en el esquema de las coordenadas la relación será siempre rigurosamente exacta hasta el milésimo decimal. Naturalmente ello solo es válido para el espacio euclidiano; pero de esto hablaremos más tarde. El esquema nos da las leyes de la realidad mejor que la realidad misma, y permite que fenómenos irrepresentables como el intervalo, entren en el esquema sin ninguna dificultad. Por eso este esquema es indispensable para la física moderna, aunque incluye el peligro de ver leyes que existen solo en el esquema. Es el arte o el tacto de cada uno el pasar justamente entre la Scila de la realidad engañadora y la Caribdis del esquema engañador también.

Hemos descrito hasta ahora el sistema rectangular, llamado también de Cartesio, en un plano que es ciertamente, aún en su amplificación tridimensional, el más gráfico, porque desde hace mucho

tiempo la humanidad se ha acostumbrado a él, usándolo instintivamente en la construcción de sus casas: dos muros y el suelo le representan (ver la fig. 28) pero en principio no son necesarios ni ángulos rectos ni líneas rectas. Cualquier elemento (ángulos, círculos u otras curvas) pueden formarlos; solo es necesario que los elementos sean *ordenados*. Que aún basta saber que son orde-

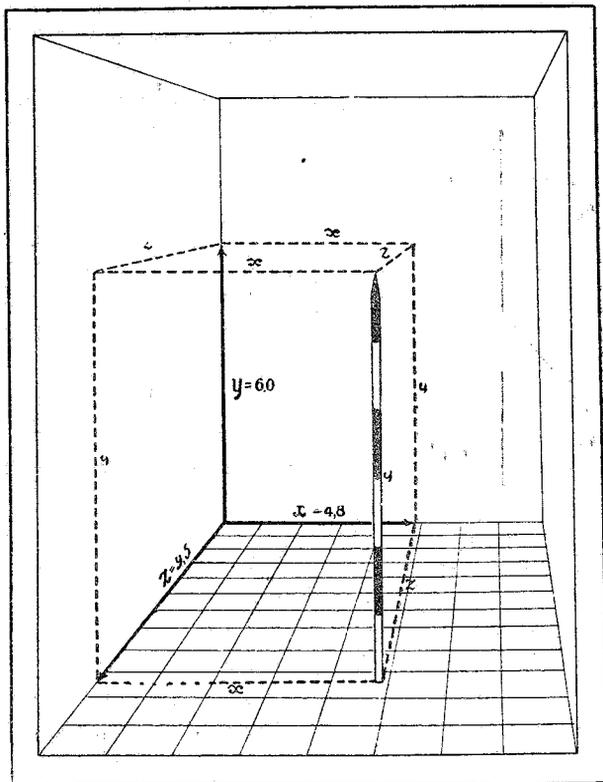


Fig. 28 — El sistema rectangular de las coordenadas

nados, sin saber como lo son, lo veremos en el décimo capítulo, hablando de las ordenadas de *Gauss*, con las cuales las matemáticas han vuelto un poco a los primitivos métodos de la orientación común. Veremos qué complicado es esto.

Visto que los elementos no deben ser necesariamente líneas, se habla mejor no de direcciones sino de dimensiones, lo que tiene también un sentido mucho más amplio, del cual ya hemos hablado y que se refleja después también al espacio.

Para el espacio se añade al plano bidimensional una dimensión más. Si se erige en un determinado punto del suelo (que esté

por comodidad embaldosado con baldosas cuadradas) una asta de cierta longitud, su punta determina un punto en la pieza sin lugar a duda (ver fig. 28). Para generalizar el método únicamente hay que prolongar las paredes y el suelo hasta el infinito.

La figura 29 muestra tal sistema completo. Todo el espacio está dividido por los tres planos XY, XZ e YZ en 8 cuadrantes, que difieren por la distinta combinación de los signos + y —, de modo que cada punto del universo está designado por tres cifras con sus signos.

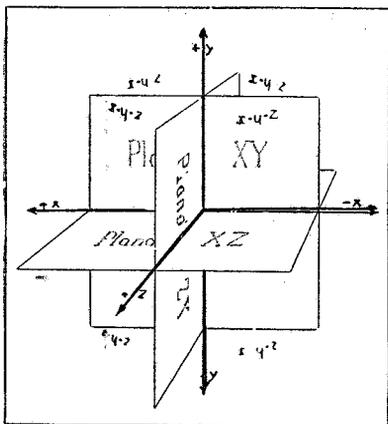


Fig. 29 — El sistema de las coordenadas de Cartesio.

Para poder usar las coordenadas es necesario conocer su punto cero; es lo difícil: fijando tal sistema, tal “andamio de tres astas imaginarias” en la tierra, puede servir como punto de referencia de los acontecimientos terrestres, pero, girando juntamente con la tierra, no está fijo ya con referencia a los planetas. Por eso su substitución por un sistema fijado en el sol era recomendable, lo que fué hecho por *Copérnico*. Pero el sol se mueve también, y para describir los movimientos en el universo, tendría que elegirse tal andamio, inmóvil en relación a las estrellas del universo y, como no se sabe si todo el sistema de la vía láctea está en reposo, el postulado nace de un sistema de referencia, que estriba en el espacio mismo supuesto inmóvil. Esta suposición es el espacio absoluto de *Newton*. La cuestión arranca de si esta aparente necesidad es legítima o al menos racional. Veremos que ni es legítima ni racional: en lo que consiste uno de los puntos de partida de la teoría de la relatividad.

Tal sistema de ordenadas o de referencia es un esquema de la realidad y puede sustituirla. Es una simplificación que se usa, si se trata de fenómenos puramente cinemáticos. En lugar de decir que un tren va sobre la tierra puede decirse también, prescindiendo de todas las contingencias, debidas a la estructura mecánica del ferrocarril, que dos sistemas de referencia se mueven uno contra el otro, lo que es, en muchos casos, más simple para la descripción.

Tal sistema de ordenadas o de referencia es un esquema de la realidad y puede sustituirla. Es una simplificación que se usa, si se trata de fenómenos puramente cinemáticos. En lugar de decir que un tren va sobre la tierra puede decirse también, prescindiendo de todas las contingencias, debidas a la estructura mecánica del ferrocarril, que dos sistemas de referencia se mueven uno contra el otro, lo que es, en muchos casos, más simple para la descripción.

Basta solo añadir, qué es el intervalo espacial \overline{AC} de la fig. 30). Hemos ya visto que la línea $\overline{AB} = \sqrt{x^2 + y^2}$; ahora bien, el triángulo ABC es rectángulo en B y por eso debe ser según el teorema de Pitágoras:

$$\overline{AC} = \sqrt{(\sqrt{x^2 + y^2})^2 + z^2} = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Es decir la distancia entre dos puntos en el espacio es conocida si se conocen las coordenadas de estos dos puntos.

Lo mismo es válido también para una forma tetradimensional, y en especial para el tiempo-espacio; la distancia, el intervalo invariable entre dos sucesos, es, como la matemática demuestra:

$$J = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 + t^2}$$

donde x, y, z son las ordenadas comunes del espacio y t el tiempo.

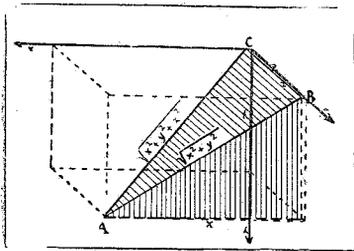


Fig. 50 — El intervalo espacial

Se ve que la fórmula del tiempo-espacio tetradimensional en sí no es más complicada que la común. Que t en este caso es considerada como una magnitud imaginaria en el sentido matemático, es un artificio matemático, que facilita el uso de la fórmula y aquí no nos interesa.

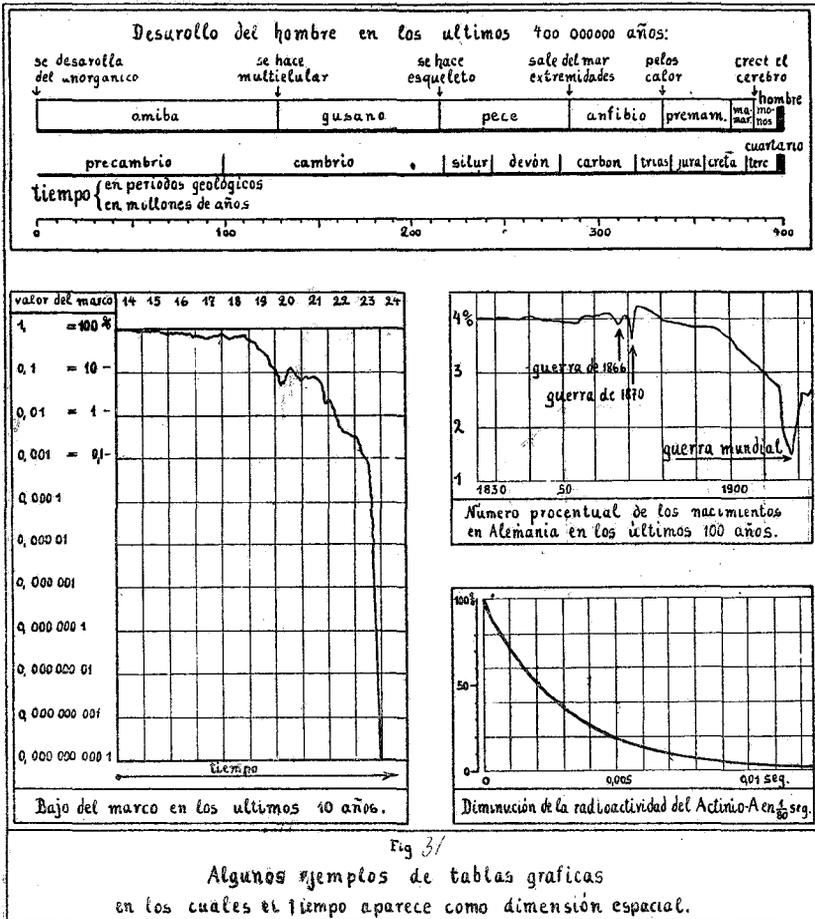
§ 18.—EL TIEMPO EN LAS TABLAS GRÁFICAS

(La mística “cuarta dimensión” — Unas tablas gráficas — Tiempo y movimiento. — La representabilidad del tiempo-espacio — cuerpos tiempo-espaciales — el universo de *Minkowski* — el universo energético)

Entre las varias combinaciones dimensionales, la del espacio con el tiempo tiene mayor importancia, porque se le atribuye mayor realidad que al espacio y tiempo aislados. Lo que ésta puede significar lo veremos hablando de la teoría de la relatividad. Ahora lo trataremos como cualquier otra combinación de dimensiones. Naturalmente, este espacio temporal no es ni tiempo ni espacio, es ciertamente algo en absoluto diferente, como la energía no es ni masa ni velocidad, que son sus componentes; por eso su tetradimensionalidad no debe confundirse con la cuestión de si el es-

pacio mismo es posiblemente curvo y tetradimensional (en cuyo caso el tiempo-espacio sería pentadimensional).

La combinación tempo-espacial, en sí, no es menos simple que las ya tratadas. Si a pesar de esto hay muchos a quienes ella parece una extravagancia fantástica de una matemática irreal, es por-



que no conocen las otras, y sienten aún como una obligación sagrada la de defender su espacio conocido, mientras que la dimensionalización de la energía p. ej. no les interesa.

Ademas asusta la palabra "cuarta dimensión", porque los espiritistas y otros oscurantistas le han dado una interpretación mística e irracional, desgraciadamente tan vulgarizada que en lenguaje corriente cuarta dimensión y creencia en los espectros son casi sinónimos. Sin esto muchos hubieran advertido que suelen

usar hace ya mucho el tiempo como dimensión del espacio, aún que no lo sepan. Pero, sin añadir una palabra más, todos comprenderán las cuatro tablas gráficas de la página anterior, donde el tiempo como dirección del espacio, corre de izquierda a derecha (ver fig. 31). Se dirá que aquí se trata solo de una imagen del

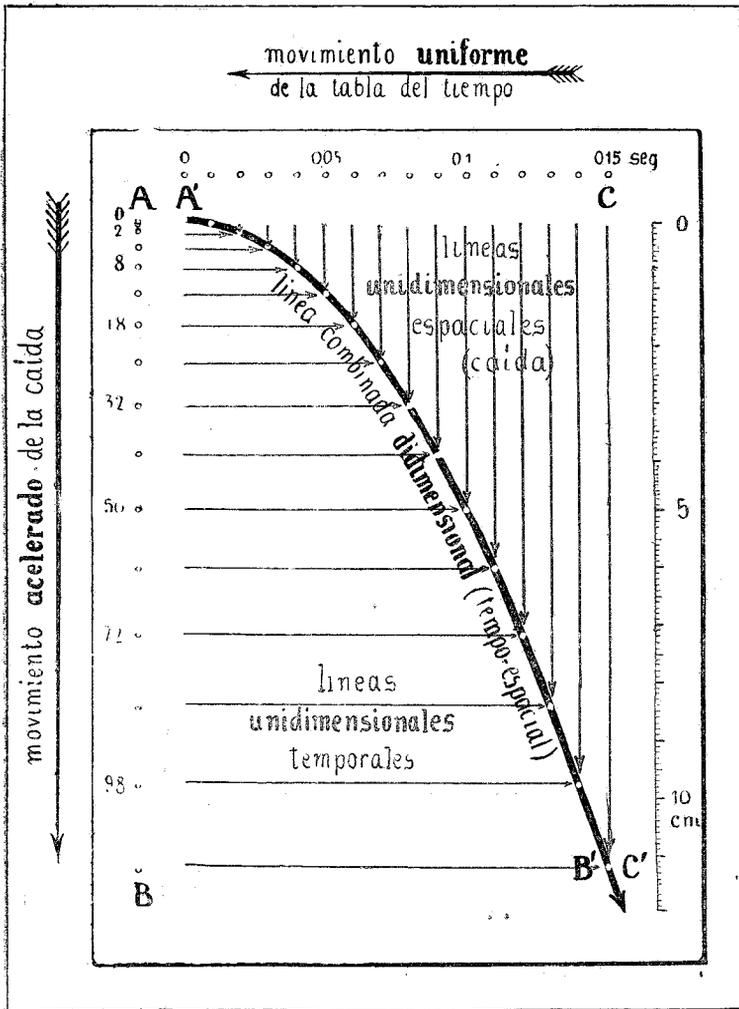


Fig. 52 — Combinación de un movimiento acelerado de una caída con el movimiento uniforme del tiempo

tiempo y no del tiempo verdadero! Claro que sí! — solo que esto no constituye ninguna diferencia, puesto que el tiempo sensorial es también solo una imagen de lo real.

El tiempo aparece aquí como un movimiento, lo que no puede

ser tan irrepresentable, desde que todos los pueblos jóvenes se lo han representado así: demuestran eso sus lenguas (el tiempo “viene” o “se vá”, “corre” o “vuela”) y su mitología (siempre el viejo Cronos el dios del tiempo tiene alas).

Se puede aún combinar el movimiento del tiempo con movimientos comunes. La caída de los cuerpos es rectilínea y vertical; fijando un pedazo de tiza en el cuerpo y haciéndole caer rozando el plano se puede escribir en una tabla debidamente puesta la línea de esta caída; resultaría la línea A B, de la fig. 32 en la cual están marcadas las posiciones después de cada centésimo de segundo; a esta vertical puede añadirse experimentalmente el tiempo como horizontal A C, que el cuerpo en reposo escribiría, si la “tabla del tiempo” se trasladase en la dirección de la flecha. Como las partes del tiempo son iguales y las de la caída no, resulta de la combinación de estas dos rectas una parábola. Un fenómeno semejante lo hemos comprobado todos en la ventanilla de un tren, en la que las gotas de lluvia escriben la oblícua huella de su caída; solo que aquí las huellas son rectas; pues las gotas en su largo camino han alcanzado ya su máximo de velocidad, y si dos movimientos uniformes, como aquí gota y tiempo, se combinan, resulta necesariamente una nueva línea recta (ver la fig. 33) en la que

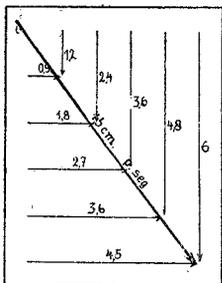


Fig. 53 — Combinación de dos velocidades uniformes

están combinados un movimiento horizontal de 0,9 cm. y uno vertical de 1,2 cm. por segundo, resultando una trayectoria recta con una velocidad de 1,5 cm. por seg. Este resultado es válido en general, no solo para el movimiento temporal sino para toda combinación de dos velocidades uniformes: jamás se puede distinguir, con ningún método, si en un movimiento rectilíneo no hay otro rectilíneo también. Esta imposibilidad de ver el “verdadero” movimiento de un cuerpo

constituye una parte integral del viejo principio de la relatividad (ver § 21).

Llamando a la parábola de la fig. 32, una formación tempo-espacial, se podría objetar que es una simple parábola en un plano, solo que por artificio una de las direcciones *representa* el tiempo. Tiene razón quien así arguye, pero nosotros también: es una simple parábola porque otras no existen para nosotros. La verdadera “parábola tempo-espacial” sería algo extra- o sobrenatural, sin ser por ello sobrenatural. Dos dimensiones, sean las que fueren, forman sensorialmente siempre un plano; lo que son, además de



ello, ningún mortal lo sabe, ni en el caso en que las dos direcciones fueran espaciales, ni tampoco, si una de ellas es lo que llamamos el tiempo: la parábola espacial no es más real que la tiempo-espacial; solo que el hombre en su estado natural lo cree.

La verdadera diferencia (sin importancia para la figura resultante) está en que las dimensiones, si una de ellas es temporal, no pueden cambiarse entre sí, como si las dos fuesen espaciales (cf. § 16), pues el tiempo, por definición, transeurre uniformemente y una aceleración es imposible.

Una vaga adivinación de que el conjunto de tiempo y espacio debe ser la realidad, se deduce ya de un análisis biológico. Se dice y se cree que los cuerpos son formas puramente espaciales. Pero en verdad no los hemos percibido jamás como tales; los conocemos solo si están también en el tiempo. Nada puede influirnos, sin durar un corto tiempo, pues cada sensación necesita, para formarse, del tiempo, como lo demuestra la fisiología. Por eso *para nosotros el espacio no existe sin una extensión en el tiempo*; no tiene realidad en sí, pues la tiene solo en conjunto con el tiempo, mientras que el espacio temporal podría existir al menos, pero aún cuando fuese lógica o realmente comprobado, permanecería siempre irrepresentable para y en razón de nuestra organización.

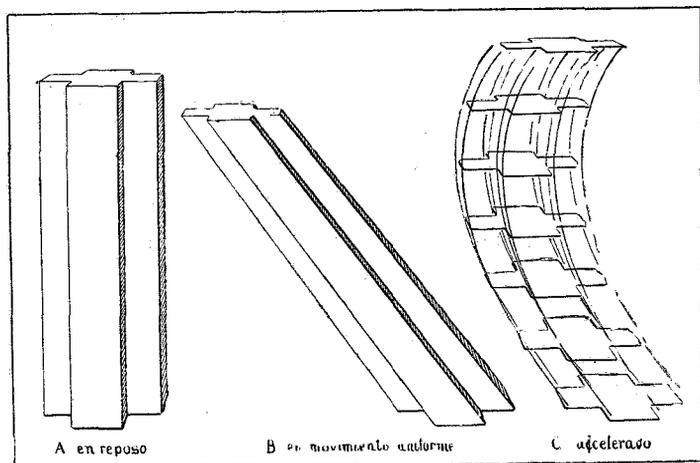


Fig. 54 — Un plano (cruz) en el tiempo-espacio

Sin embargo suprimiendo una o dos dimensiones del espacio, puede introducirse en su lugar el tiempo (lo que se hace p. ej. en las tablas gráficas) y este tiempo-espacio es representable; para nosotros, naturalmente, solo bajo la forma del espacio común.

Cada objeto tiene por eso una dimensión más de las que nos

parece: los objetos reales tienen cuatro, las abstracciones bidimensionales tres. Lo que significa que los últimos no son planos, sino algo así como cilindros: estas formaciones son representables y pueden aún dibujarse como en la figura 34 que demuestra que una cruz forma en el tiempo-espacio un prisma del corte correspondiente: recto si está en reposo, oblicuo si se mueve uniformemente y curvo si hay aceleración; si ella es como en el caso de la atracción gravitativa uniforme, la curvatura es parabólica.

Análogamente pueden dibujarse y en casos simples, aún escribirse experimentalmente, movimientos bidimensionales, p. ej. el vaivén de un péndulo que, escrito en una especie de gotera (fig. 35) da una curva espacial torcida que va hasta el infinito.

En vez de representarse los objetos bajo una forma tempo-espacial alargada (fig. 34 A, y B) puede aún decirse que ellos se "mueven" en el tiempo (fig. 34 C,) lo que es con poca diferencia lo mismo, pues las dos expresiones son únicamente ensayos de perifrasis sobre lo que permanecerá siempre ininteligible sensorialmente, aunque lógicamente sea tan simple y claro.

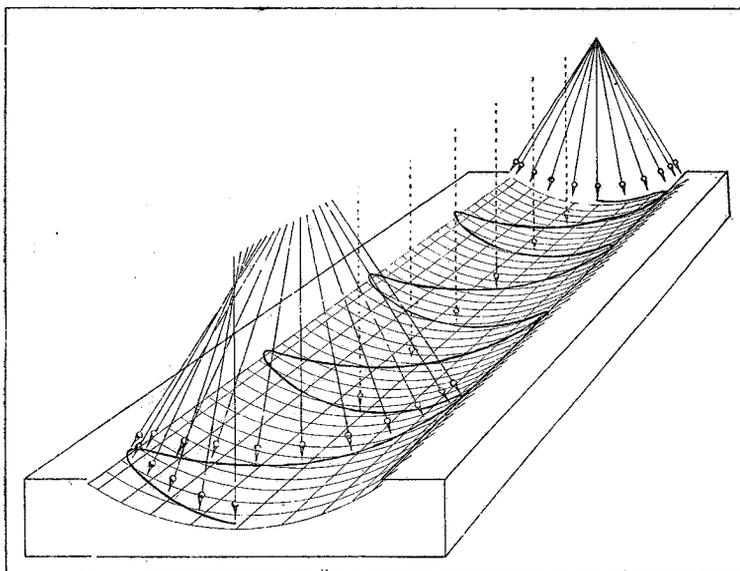


Fig. 35 — Movimiento de un péndulo en el tiempo-espacio

Recordando que estas representaciones gráficas son únicamente imágenes o paradigmas del verdadero mundo tempo-espacial, es lícito usarlas, llamando en un sistema de coordenadas a una de ellas t (= tiempo). Resultan naturalmente aquí las mismas formas que en el espacio vulgar.

La fig. 36 muestra p. ej. que un movimiento rotatorio, que aparece en el espacio vulgar (x y z) como una circunferencia en el espacio temporal (x y t) ⁽¹⁾ se vuelve hélice, y aunque tiene la misma forma que una real, no es idéntica a ella, pues en los dos casos la hélice es solo la imagen sensorial de algo desconocido, pero en verdad completamente diferente.

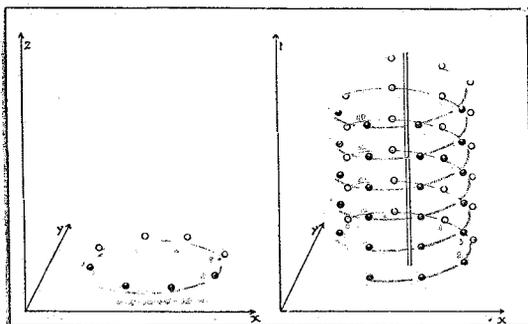


Fig. 36. — Un movimiento circular en el espacio común en el espacio temporal

Un verdadero movimiento espiral p. ej. el de la tierra, girando alrededor del sol, y al mismo tiempo arrastrada en la órbita del astro central, se combina naturalmente también con el “movimiento” por el tiempo y, aunque esta combinación no

puede dibujarse más, no es menos comprensible que las otras y para la geometría analítica, que trata las curvas algebraicamente, la transformación de una hélice en una curva superior no es más difícil que la de una circunferencia en hélice, lo que basta tanto más, cuanto que son más exactas las fórmulas, que los mejores dibujos.

Vista de este modo, la tetradimensionalidad del matemático no tiene nada de místico: así como el tiempo alarga un plano a un “volumen”, el volumen es alargado a una variabilidad tetradimensional. Un punto en el espacio necesita para su determinación tres coordenadas, pero como no existe fuera del tiempo, para su determinación completa la dimensión de tiempo debe añadirse.

Esta nueva variabilidad tetradimensional no tenía nombre, porque el hombre podía bautizar solo lo que sus sentidos le mostraban. La designación tiempo-espacio es objetivamente justa, solo que no deberá inducirnos a creer, principalmente por la usada representación gráfica, que se trate de algo como un espacio: en verdad el “espacio completado por el tiempo” podría llamarse con el mismo derecho un “tiempo completado por el espacio”; y he-

(1) La tercera dimensión del espacio común (2) debe naturalmente suprimirse aquí para hacer representable la formación tiempo espacial.

mos dado realidad a sus componentes aisladas justamente porque lo total quedaba innominado para nosotros.

Hoy tiene ya su nombre propio. *Minkowski* en el año 1908 ha llamado al espacio-temporal de *Einstein* "die Welt" (el universo o el mundo) y a las líneas que los diversos puntos siguen en el tiempo, las líneas mundiales o universales, expresando con esta palabra que la realidad no es solo un lugar y tampoco solo un momento; la realidad consiste únicamente en los acontecimientos, en *los hechos*, que se componen de dos factores, es decir que constan conjuntamente de tiempo y lugar, de modo que son en realidad formas tempo-espaciales con una dimensión más que las formaciones puramente espaciales.

• Así como la circunferencia moviéndose en el espacio desarrolla la hélice, del mismo modo—metafóricamente dicho—*el espacio moviéndose en el tiempo, desarrolla la realidad, esta realidad única, que nosotros vemos bajo el doble aspecto de tiempo y espacio.*

Las palabras con que *Minkowski* preconizaba solemnemente esta doctrina: "Que desde ahora tiempo y espacio empalidezcan en meras sombras de la realidad, porque únicamente su síntesis corresponde al universo real" son ya célebres; en verdad la designación es acertada y se usa generalmente. Pero podría también dar lugar a equivocaciones: el nuevo conjunto del gran matemático es una nueva y si se quiere una más real y más completa matemática que la vieja de *Euclides*; mas resulta una matemática abstracta que es como se sabe la consciente renuncia a todo contenido específico, es decir al mundo real del físico. En este mundo físico la realidad del conjunto tempo-espacial no es más grande que la de sus factores, pues ni el espacio, ni el tiempo, ni su síntesis, sino únicamente los fenómenos y sus leyes son realidades; y los fenómenos reales contienen aparentemente aún algo más que tiempo y espacio. El mundo de *Minkowski* es en sí, solo uno de los hechos bidimensionales, de los cuales hablamos anteriormente, entretejido en el nexo general. La verdadera realidad, el verdadero mundo real, consiste en el conjunto del universo tempo-espacial, con la energía que cabe en él. Solo si espacio y energía fuesen idénticos, es decir, si el espacio en sí mismo no existiese, siendo solo una forma sensorial de la energía o viceversa, en este caso exclusivo, el universo de *Minkowski* adquiriría realidad absoluta, y sería verdaderamente el universo, fuera del cual nada existiría.

§ 19.—EL TIEMPO-ESPACIO

(La posibilidad de reunir sensaciones — la imposibilidad de reunir las sensaciones espacial y temporal — el tiempo bidimensional — la necesidad de cuerpos tridimensionales — las medidas espaciales del tiempo — las medidas temporales del espacio)

Aceptemos por el momento sin prueba, y por eso solo provisoriamente, este mundo tempo-espacial de *Minkowski* y ocupémosnos de algunas cuestiones fisiológicas relacionadas con él. Son principalmente dos las cuestiones que nos interesan, primero: ¿por qué el hombre percibe tiempo y espacio aislados si no lo son y por qué ha dividido el supuesto conjunto justamente en estos dos componentes?; segundo: ¿cómo era posible que el hombre no solo los sintiera aislados, sino que también pudiera medirlos aislados, si se influyen mutuamente?

La aparente incompatibilidad de tiempo y espacio y su consiguiente valorización como cosas absolutas, se comprende fácilmente: *el tiempo, la generalización de la sensación vital y el espacio, la del movimiento, no pueden ser relacionados entre sí por el hombre, porque ninguna de sus sensaciones, nacidas de diferentes sentidos, lo pueden ser*: ellas no muestran solo diferencias de intensidad, sino que cada una de ellas tiene una cualidad específica (que los alemanes llaman, según *Helmholtz*, *modalidades*) y por eso tiempo y espacio deben parecernos tan incomparables como la sensación de lo dulce y la del azul.

El objeto tiempo-espacio no difiere en esto de ningún otro objeto: una libra esterlina en oro tiene un peso casi de ocho gramos, un color amarillo, una forma redonda, es fría en general al tacto; todas estas sensaciones son completamente diferentes, incomparables e irreductibles entre sí. Solo por el hecho de sentir las siempre en conjunto, y poder llevar toda la moneda con todas sus cualidades, arribamos a la conclusión de que estas diversas sensaciones se refieren al mismo objeto. Y como no podemos ver el tiempo-espacio en su totalidad, ni llevarle tampoco, no tenemos ninguna razón para referir sus diferentes cualidades a un objeto único.

Subsiste la cuestión de por qué los sentidos animales han descompuesto tal entidad en una formación tridimensional (espacio) y otra unidimensional (tiempo) — ¿Por qué no en dos formaciones cada una de dos dimensiones? Tal descomposición en dos debería ser posible y aún probable en los “hombres de un segundo”, que ideamos en el párrafo 10 y que pudieran ver la marcha de la luz: existiría para ellos en la dirección de los rayos luminosos, paulatinamente progresando, un aparente cambio continuo de la realidad visible; de modo que una observación reglada del espacio sería posible únicamente, abstrayendo de todo lo que pasa en esta dirección con la velocidad de la luz. Por eso un tiempo bidimensional sería más adecuado para este mundo: una dimensión, la de nuestro tiempo común, y la otra la velocidad de la luz. El mundo sería con esto no menos comprensible que con nuestro tiempo.

Para el hombre de nuestro mundo, tal descomposición no sería natural. El espacio tridimensional es una consecuencia, como menciona ya *Eddington*, de la aparente facilidad de poder cambiar las dimensiones espaciales entre sí. Las dimensiones son: derecha e izquierda, atrás y adelante, arriba y abajo. Se ve bien pronto que la distinción entre los dos grupos primeros no es esencial: efectuando un cuarto de vuelta, lo que estaba atrás está a la derecha, lo que estaba a la izquierda está atrás. Las otras direcciones se confunden también fácilmente: basta levantar la cabeza para que lo que encontrábase arriba esté delante; y aunque este cambio de la agrupación de lo superior e inferior es menos sencillo y que por eso la vertical ha conservado siempre una cierta independencia, el cambio es posible y explica por qué el hombre se ha acostumbrado a combinar estas tres dimensiones en el orden superior del espacio tridimensional. Veremos más tarde que hasta ciertos límites se puede aún cambiar el tiempo en espacio y viceversa; pero estos cambios son tan insignificantes que no fueron averiguables ni para el animal ni para el hombre primitivo y se comprende cómo ninguno de ellos sintiera la obligación de unirlos en un orden superior.

Pero hay una causa más poderosa: para nosotros era forzosa la división del universo en tiempo y espacio como una consecuencia de nuestro concepto de la materia. Por las comparaciones experimentales entre los rayos catódicos y los rayos de los cuerpos radioactivos (ver § 36), se sabe que nuestro concepto sensorial de la materia es falso; la materia no tiene realidad en sí misma, es solo una forma especial de la energía; pero nosotros — hasta los más

puros idealistas somos incorregibles materialistas ingenuos. Para nosotros la materia existe incondicionalmente. ⁽¹⁾ Creemos en ella porque la tocamos, y en lo que se toca con el dedo, cree aún el incrédulo Santo Tomás. Ahora bien: la creencia en la materia lleva como corolario la creencia en los cuerpos materiales; y como el espacio no es más que una generalización de las propiedades de los cuerpos que caben en él, era preciso que el aislamiento de los cuerpos, su separación del conjunto universal, fuera seguido del aislamiento del espacio. Pero siendo la división sensorial del universo en nuestros tiempo y espacio una consecuencia de nuestro concepto de la materia, esto no se podrá comprender completamente antes de haber tratado de la materia. (ver § 37).

Preséntasenos ya por tercera vez el problema de los cuerpos. En el § 11 hemos visto que *el espacio en sí* no existe sino que es una abstracción o generalización de las nociones empíricas acusadas por los cuerpos; en el § 13 se pudo demostrar que las *dimensiones espaciales* son nada más que una traducción o translación de ciertas propiedades corporales; en el presente encontramos la *razón* de esta funcionalidad: para el hombre, es decir, para la formación de su espacio sensorial, las propiedades de la materia y su fenomenalidad constituyen las causas reales. El espacio no es una substancia — ni en el sentido común de la palabra, ni tampoco en el más amplio, con que esta palabra se usa en filosofía. Fuera de los cuerpos no hay substancialidad; y si ellos la tienen lo veremos más tarde.

De este modo el análisis fisiológico reduce ya todos los problemas de la forma abstracta del espacio (y del tiempo) a un problema de las propiedades físicas de la materia. Con esto la fisiología ha cumplido su tarea; tiene como siempre que reducir los problemas de la materia viva a los de la materia muerta. Todos los problemas más allá de la materia son puramente físicos. La fisiología puede, en virtud de la naturaleza de sus métodos, ser solo preparatoria: puede demostrar por qué el hombre no ve la verdad, pero con respecto a la verdad misma debe bastarse con constataciones condicionales, limitando el terreno, en que la verdad debe caber.

(1) La verdadera razón de esta vieja creencia en la materia la trataremos hablando en el § 37 del concepto de la materia que nos procura la teoría de la relatividad.

Tampoco en este caso la fisiología podría distinguir si las diferentes calidades del tiempo-espacio (estas son justamente las sensaciones del tiempo y espacio aisladas) son realidades o no: parecerían diferentes, si son cosas diferentes en realidad, pero parecerían diferentes también si son solo las dos partes—o exclusivamente los dos aspectos—de una sola y misma cosa; como p. ej. la misma oscilación electro-magnética, irritando el ojo, es luz, irritando la piel, calor.

Electricidad, calor, luz y los rayos X son todas ondas electro-magnéticas de distinta longitud, son diferentes por eso solo cuantitativamente; la luz visible, colocada aproximadamente en el medio de la escala, debería tener más afinidad con los rayos X y con la electricidad, que estos entre sí. Pero el juicio del hombre en su estado natural, es totalmente otro. Si decimos a un hombre, ignorante de las leyes físicas, que el color de una corbata verde es idéntico a ese "fluído misterioso" que le transmite por radiotelefonía los sonidos de una orquesta lejana o a lo que le quema, cuando come cosas demasiado calientes (1), se reirá francamente de nosotros. Si se le dice al contrario que los fenómenos del relámpago y de los rayos X son idénticos, lo creerá desde un principio y nos dirá aún, que no ha dudado jamás de eso. Lo que es muy probable, porque lo único que sabe sensorialmente de estos dos fenómenos es que no sabe nada de ellos — un tercer término de comparación, que en general, basta para la identificación — como cualquier otro. El mismo físico examinándose bien psicológicamente hallaría que no tiene otra sensación: en la comparación de calor y electricidad hay que vencer siempre una cierta resistencia interna e instintiva, que en la identificación de los rayos X con la electricidad no existe, porque nos falta el sentido eléctrico que se podría sentir ofendido, mientras creyendo saber lo que es un color nos defendemos instintivamente contra la demostración de una equivocación.

Esta diferencia prueba una vez más la gran influencia de los sentidos y su rebeldía invicta: todos los sentidos se sienten soberanos y solo en el caso de los cuerpos materiales se han entendido y reconocen espontáneamente que sus diferentes imágenes se refieren a una causa común; por eso el reconocimiento de la relatividad

(1) Aunque el hecho de que calor y color tienen la misma raíz, es muy significativo, probándonos, como la historia de los pescadores (§11) que los pueblos instintivamente saben tal vez mucho más de lo que creen saber.

de tales imágenes era fácil; pero como las imágenes del tiempo y espacio no corresponden a ningún cuerpo reconocible, faltaba aquí la posibilidad de corregirse. Tiempo y espacio quedaban aislados. Su conjunto no se reconoció como el de los cuerpos llamados materiales.

La posibilidad de una averiguación no faltaba en absoluto; pero tan grande era la primera sugestión sensorial que hasta hace poco casi nadie había dado la suficiente importancia al hecho de que *en realidad ningún tiempo se ha medido jamás sin ayuda del espacio y viceversa.*

En verdad podemos medir tiempos únicamente cambiando sucesos temporales en espaciales. Podemos notar el movimiento de una palanca en un reloj, el chorro de arena en una ampolleta, contar revoluciones de la tierra u oscilaciones de la luz; — todo lo que sobrepaja a la primordial sensación temporal, se funda en movimientos en el espacio. Pero aunque esta unión entre tiempo y espacio es antiquísima, pues data de la primera medida del tiempo que efectuaron los hombres, es muy reciente con relación a la noción vital del tiempo que data de la primera sensación que tuvo una amiba. Además es una noción puramente intelectual. Y aquí, como en las cuestiones de moral, belleza, de razas y costumbres, los instintos son aun omnipotentes, la inteligencia no vale nada.

La necesidad del tiempo para la medida del espacio es menos evidente y son precisas unas palabras explicativas. Pero, como ya hemos visto que nuestro espacio, es un espacio de los movimientos, de los cuales sacamos la sensación, y como movimientos se cumplen solo en el tiempo, es claro que el tiempo entra en la medida. El pueblo había concebido este papel sobresaliente del movimiento para las medidas del espacio y tiempo: *el momento es un derivado del movimiento!* En la lengua latina esta dependencia es aún más clara: “*momentum*” significa un movimiento, una distancia espacial ⁽¹⁾ y un lapso de tiempo. En otros términos se ha conservado la misma intuición: una legua es el camino de una hora, y en algunas partes se usa aún en su lugar la expresión de una “hora”, etc.

Sería un error creer que cuando comenzábamos a medir el espacio con los ojos, esto cambiara algo. La imagen en nuestros ojos

(1) En el lenguaje científico el momento de una fuerza significa, aún hoy en día, el producto de la intensidad de esta fuerza por su *distancia* a un punto dado.

no tiene en sí ninguna relación directa con el espacio externo, y la correspondencia entre los puntos de la retina con los del ambiente se establece solo paulatinamente por medio de movimientos, sea en el desarrollo filo- u ontogenético, lo que es a este respecto la única divergencia entre los biólogos. Además la imagen retiniana es plana y con iluminación instantánea y con *un* ojo no se ve ninguna profundidad. Para reconocerla es necesario el tiempo, o la visión binocular, cuyo mecanismo no es innato tampoco, sino adquirido por la experiencia ancestral con movimientos. Parece además que aún ella no es instantánea, pues el hombre no ve en general con sus dos ojos simultáneamente sino alternativamente en intervalos imperceptiblemente cortos (compárese Ewald Hering sobre la competencia de las sensaciones monoculares).

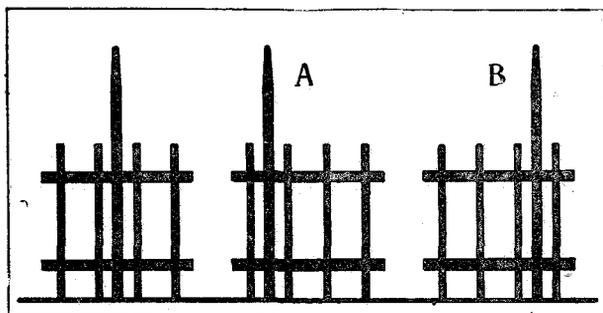


Fig. 37

Dependencia del espacio visual de los movimientos
 Moviendo la cabeza a la derecha la imagen cambia:
 Como en A: si la asta está antes de la reja
 " " B: " " " " atrás " " "

El papel de los movimientos para el reconocimiento del espacio lo muestra la fig. 37. Si se ve una reja y una asta con sombras en el cielo claro, no se sabe, quien de ellas ocupa el primer lugar, pero, si, moviendo la cabeza un poco, el asta se mueve en sentido inverso, sabemos que está antes, y atrás, si se mueve idénticamente con los ojos. Que prácticamente el hombre aprendió a estimar la profundidad por otros signos (como perspectiva, color etc.) no altera la constatación principal.

Con lo que antecede, la interdependencia, la relatividad del tiempo y espacio parece bien establecida; sin embargo no se ha ganado mucho antes de conocer las *leyes* de esa relatividad, que nos son reveladas — de otro modo no fuera posible — por un alargamiento de nuestros sentidos: podemos hoy "ver" no directamente con nuestros ojos, sino indirectamente con aparatos delicados la "marcha de la luz".

Esta nueva visión del mundo nos muestra no solamente que nuestro tiempo y espacio eran ficciones sensoriales — lo cual podríamos saberlo antes aún — sino de qué modo debe corregirse-las.

Acontece lo mismo que con la reja y el asta: si no pudiese moverse, sensorialmente todo parecería en un plano; intelectualmente deduciríamos la posibilidad de que el asta esté delante o atrás, pero esto no se vería nunca; serían explicaciones retóricas! se construye ahora un aparato con el que el hombre puede moverse—y al momento se ve todo desde un nuevo punto de vista y se sabe cómo son las cosas en realidad.

El papel de tal móvil ha desempeñado el aparato que nos permitía ver la marcha de la luz, el interferómetro: la teoría de la relatividad es solo la explicación necesaria.
