

INTRODUCCION A LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD

POR

A. VILLACRECES G.



Para construir una casa, no se necesita saber que la tierra es redonda; pero sería imperdonable que un arquitecto lo ignore.

BOREL.

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

PRELIMINARES

Entre todas las teorías que sucesivamente se han concebido para explicar los fenómenos que observamos en el mundo, ninguna como la de la Relatividad ha logrado llamar tan poderosamente la atención universal. Esto se debe principalmente a dos razones:

1ª Hasta los últimos años del siglo XIX y primeros del actual, se había llegado a construir un edificio teórico, una imagen intelectual tan perfecta del mundo físico, que casi todos los fenómenos quedaban explicados por ella, presentándose estos como consecuencias necesarias de las propiedades mecánicas del éter. Esa doctrina reposaba en unos cuantos axiomas fundamentales, a los que no se consideraba necesario demostrar, ni siquiera explicar. Uno de ellos era, por ejemplo, la existencia del *tiempo absoluto*.

Cuando no faltaban sino unos pocos perfeccionamientos de detalle, Michelson trató de medir la velocidad de la tierra con

relación al éter, con lo que casi se debía completar el cabal conocimiento de esta substancia.

Pero, contra todo lo previsto y lo esperado, tal velocidad resultó nula. La experiencia de Michelson, a la luz de la teoría del éter, demostraba que la tierra era el CENTRO DEL UNIVERSO, el único planeta inmóvil en el espacio. Pero el movimiento de la tierra también estaba comprobado por un sinnúmero de observaciones astronómicas y físicas.

Entre las dos tesis contradictorias, ambas comprobadas por la experiencia, ¿cuál era la verdadera? Michelson y otros sabios volvieron a ejecutar nuevas mediciones; pero la tierra se obstinaba en seguir apareciendo inmóvil. ¿Qué solución se podía dar a este enigma? Todas las que se propusieron conducían a resultados contradictorios entre sí y contradichos, además, por la experiencia. Por otra parte, el edificio teórico, antes tan sencillo y perfecto, se complicaba y desfiguraba de tal modo, que más que edificio, parecía ruinas.

Es en este momento que aparece Einstein, y demuestra que todas las dificultades en que se veía enredado el mundo científico provenían de que se había dejado conducir por la luz engañosa de ciertos axiomas que, por parecer evidentes, se habían aceptado sin examen. Entonces, con la única ayuda de la experiencia y de la Lógica, construye la teoría de la Relatividad, cuyos más bellos éxitos enumeraré sumariamente.

1º Explica todos los fenómenos físicos comprendidos en la Mecánica antigua y, además, la experiencia de Michelson;

2º Explica el movimiento del perihelio de Mercurio, anormal, según la Astronomía clásica, y necesario, según la teoría de la Relatividad;

3º Da una concepción sencilla, coherente y lógica del mundo físico, determinando por qué la masa ponderable y la masa de inercia de los cuerpos nos parecen siempre iguales, y por qué aparece inagotable la provisión de energía solar (1). A las leyes de la Relatividad se someten las emanaciones radioactivas que se obstinaban en permanecer al margen de la mecánica clásica;

4º Ha permitido prever la pesantez de la luz, que se comprobó plenamente en el eclipse total del sol, en 1919, y el desplazamiento hacia el rojo de las rayas del espectro de la luz proveniente de campos de gravitación intensa.

Pero, (y esta es la segunda, y, talvez, la mayor causa de su

(1) El Sr. Dr. Julio Aráuz publicó, respecto de este asunto, un interesantísimo artículo en "El Comercio" de Quito, del 4 de agosto de 1927.

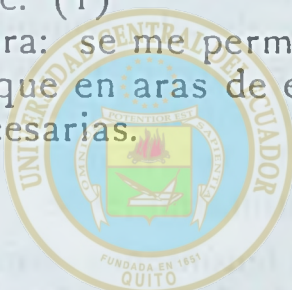
celebridad), la teoría de la Relatividad está acusada de chocar contra el *sentido común*. Y es así como muchos, que jamás han leído nada de la Relatividad, la definen con un aplomo digno de mejor suerte: *es una doctrina incomprensible*.

Pues bien, este trabajo, que no es una exposición de la referida doctrina, tiene un objeto muy modesto: demostrar que, si las conclusiones de la teoría referida chocan contra el sentido común de ciertos hombres, también chocan contra él las deducciones lógicas de los principios universalmente admitidos en la mecánica clásica.

A la luz de los principios de la Mecánica Clásica, llegaremos también a la negación del *tiempo absoluto*, a la realidad de los *tiempos locales* y a la concepción del *espacio-tiempo* de cuatro dimensiones: los tres principales capítulos de la acusación dirigidos contra la Relatividad por ciertos físicos ultramontanos.

Los resultados a que llegaremos no son idénticos sino sólo análogos a los de la teoría de la Relatividad, lo que tiene que suceder forzosamente, debido a que nos vamos a colocar en otro punto de vista diferente. (1)

Una última palabra: se me permitirá que sacrifique la elegancia a la claridad y que en aras de ésta incurra frecuentemente en redundancias necesarias.



(1) Este esbozo, dedicado a quienes traten de estudiar la relatividad, tiene por objeto evitarles el sinnúmero de dificultades con que tropezarán al leer las poquísimas obras que sobre esta doctrina han llegado hasta nosotros; todas las cuales, en vez de seguir el consejo de pasar de lo conocido a lo desconocido y de lo fácil a lo difícil, siguen el camino opuesto, poniendo en primer lugar lo paradójico, como si en ello estuviera el mérito esencial de la doctrina. Hay, además, otra dificultad: algunos vulgarizadores de esta, parece que la interpretan mal, dando a comprender que, con el movimiento, las condiciones de marcha de un reloj se modifican, cuando lo único que se deduce de la relatividad es que un reloj fijo no puede servir para medir el tiempo de un sistema móvil, debido a que ninguna señal se puede propagar con una velocidad infinita.

En este esbozo, nos serviremos de los principios universalmente conocidos de la mecánica clásica, para llegar a conclusiones análogas a las de la Relatividad, preparándonos, así, para la comprensión de las obras de vulgarización, la mejor (y, talvez, la única buena), de las cuales es la del mismo Einstein: "LA THEORIE DE LA RELATIVITE MIS A LA PORTEE DE TOUT LE MONDE".



CAPITULO PRIMERO

El Tiempo

I

¿Cómo nos formamos idea del tiempo? Indudablemente, observando los cambios que se verifican en la Naturaleza y en nosotros mismos. El movimiento del sol y de los otros astros en la bóveda del cielo; el cambio de aspecto de la naturaleza consiguiente a la aparición o desaparición del sol; la constatación de que nuestros semejantes que antes no existieron hoy existen y otros que existieron han dejado de existir; la observación de que también en nuestro interior se verifican cambios: de sensaciones, ideas, voliciones, etc., dentro de nuestra conciencia; de actitudes, funcionamiento, posición, etc., de nuestros órganos: todo este complejo sistema de mutaciones nos conduce a la noción de que ni el mundo exterior, ni nosotros hemos sido siempre lo que somos hoy, es decir, a la noción de un antes y un después: a la de tiempo.

II

DURACION

Pero estos cambios no tienen lugar de un modo simultáneo. Mientras el sol está en el cielo, por ejemplo, se suceden numerosísimos fenómenos, así en el mundo exterior como en nuestro mundo interno: los péndulos de los relojes ejecutan más de 40.000 oscilaciones y, en el mismo intervalo, una multitud de ideas han aparecido y desaparecido de nuestra conciencia. Decimos, entonces, que la presencia del sol *dura* más que nuestras ideas o que la oscilación pendular.

III

EL TIEMPO COMO CANTIDAD

La costumbre de numerar a las cosas que nos rodean nos ha conducido a numerar los fenómenos. Pero entre estos, algunos se repiten en una forma casi idéntica: los días y las noches, las palpitations de nuestro corazón, los movimientos respiratorios; las oscilaciones pendulares y otros muchos se presentan a nuestro entendimiento como verdaderos objetos a los cuales se pueden aplicar las nociones de unidad, agrupación, separación, y, por tanto, las operaciones de Aritmética. De este modo podemos concebir al tiempo como una cantidad.



MEDICION DEL TIEMPO

Si entre la aparición y desaparición de un fenómeno, (la claridad del día, por ejemplo), observamos que se repite un cierto número n de veces, (supongamos 40 000), otro fenómeno distinto, (oscilacion pendular), diremos que la duración del primero fue n veces mayor que la del segundo.

V

UNIDAD DE TIEMPO

Hasta aquí, la simple observación nos ha conducido a las nociones de tiempo y de duración. Para perfeccionar nuestros conocimientos sobre el tiempo necesitamos recurrir a la experiencia.

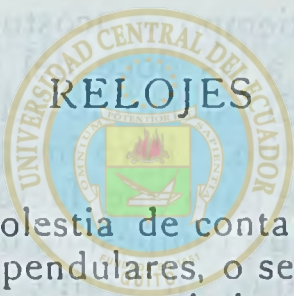
Supongamos que hayamos contado muchas veces, (100 p. ej.), las oscilaciones de un péndulo verificadas entre dos apariciones consecutivas de una misma estrella, Sirius, y que hayamos

obtenido en todas el mismo número 86.400 (1). Diremos que una revolución completa de Sirius dura tanto como 86.400 oscilaciones del péndulo, lo que constituiría una ley física particular. Nuestra tendencia generalizadora nos hará repetir la misma experiencia con otras estrellas y, si con todas encontramos el mismo número 86 400, estableceremos la ley general de que un día sideral dura 86 400 oscilaciones pendulares.

Nos inclinaremos, entonces, a atribuir una duración igual a todos los días siderales, así como a todas las oscilaciones del péndulo en referencia, y tomaremos como unidad de medida para el tiempo, sea el día sideral, sea la oscilación pendular.

Notemos de paso que, si alguna vez obtuviéramos un resultado distinto, (60 000 en vez de 86.400 oscilaciones), pensaríamos que nuestro péndulo se ha dañado o que hemos equivocado la cuenta.

VI



Para evitarnos la molestia de contar uno por uno este sinnúmero de oscilaciones pendulares, o segundos, sirven los relojes, que registran todos estos movimientos mediante la rotación de las agujas. Un reloj consideraremos bueno cuando marque 86.400 segundos en un día sideral.

(1) Hemos incurrido voluntariamente en el error de tomar la duración del día sideral como igual a la del día solar medio, para utilizar un número cómodo y conocido como es el de 86.400 segundos. Por lo demás, este error no quita ningún valor a la exposición de la doctrina, que es nuestro objeto principal.

CAPITULO SEGUNDO

Relatividad del Tiempo

I

Dos relojes idénticos e idénticamente sincronizados no pueden marcar el mismo tiempo sino cuando están ambos en el mismo lugar del espacio. Sus indicaciones diferirían si ocupasen dos lugares diferentes, a distancias desiguales del observador.

Hasta hace poco tiempo se acostumbraba dar en Quito un cañonazo, exactamente, a las doce del día, para que el público arreglase sus relojes. El estampido del cañonazo no se alcanzaba a percibir sino de Quito. Pero imaginemos que hubiese sido lo suficientemente fuerte para que fuera oído en toda la Provincia de Pichincha, y que un campesino, no muy versado en Física, después de comprobar que, en Quito, su reloj marcaba siempre las doce exactamente al oír el cañonazo meridiano, lo llevase a Machachi, que se encuentra a unos 40 kilómetros de Quito.

De acuerdo con la costumbre adquirida en esta ciudad, naturalmente, tendrá cuidado de observar la marcha de su reloj y esperará seguir oyendo las detonaciones meridianas cuando su reloj marque las doce. ¿Cuál no sería su sorpresa y desconsuelo al percibir dicha señal, no a las doce, sino a las doce y dos minutos? Creerá que su reloj se ha descompuesto en el viaje, adelantándose dos minutos en ese primer día. Si es suficientemente escrupuloso en la medida del tiempo, volverá inmediatamente a Quito a buscar quien le arregle su reloj. Pero se encontrará con una nueva sorpresa al llegar a esta ciudad: todos los buenos relojes de Quito marchan de acuerdo con el suyo, y, cuando señala este último las doce, suena también el cañonazo. Deducirá que un viaje de Quito a Machachi descorige a los relojes y que los vuelve a corregir el regreso. Pero, si le relata el caso a algún amigo conocedor de las leyes del sonido, se informará que la diferencia de los dos minutos no se debe al reloj, sino al sonido, que no se propaga con una velocidad infinita, sino sólo con la de 340 metros por segundo, y que el estampido debía tardar exacta-

mente dos minutos en llegar a Machachi. Desde entonces, comprenderá que, para tener el tiempo de Machachi por medio de las señales sonoras enviadas de Quito, necesita corregirlas de dos minutos, y que, en general, la diferencia entre el tiempo verdadero de un lugar y el tiempo transmitido de otro lugar por medio del sonido es de $\frac{x}{340}$, siendo x la distancia en metros entre los dos lugares.

II

La duración de un mismo fenómeno no puede ser la misma, aunque la midan dos observadores provistos de relojes idénticos, si el uno se mueve con relación al otro con una cierta velocidad. Cada observador en movimiento tiene su tiempo propio.

Supongamos que nuestro campesino hubiera empleado para su regreso a Quito un automóvil con la velocidad de 122 kilómetros por hora, más o menos 100 pies por segundo, la décima parte, aproximadamente, de la velocidad del sonido, en una de esas fiestas en las que se acostumbra dar salvas en Panecillo, con intervalos de un minuto. Encontrando una oportunidad de comprobar la marcha de su reloj, tratará de averiguar si los minutos marcados por este son iguales a los minutos de Quito.

Nosotros podemos fijar ya de antemano, de un modo aproximado, cuantos segundos marcará el cronómetro de nuestro hombre entre la percepción de dos salvas consecutivas. En efecto, como en cada segundo se acerca el automóvil 100 pies hacia Quito, el sonido tendrá que recorrer 100 pies menos para llegar a su encuentro, por cada segundo de intervalo. A cada minuto corresponde, entonces, un acercamiento de $100 \times 60 = 6.000$ pies. Siendo de mil pies por segundo la velocidad del sonido, cada detonación empleará

$$\frac{6.000}{1.000} = 6$$

segundos menos, para llegar al automóvil, que la detonación inmediata anterior. Nuestro campesino observará, entonces, que su reloj marca sólo 54 segundos por cada minuto de Quito y deducirá:

a) Que el reloj de Quito está adelantándose;

b) Que su propio reloj se está atrasando.

¿Cuál de las dos conclusiones es la verdadera? Ninguna. Ambos relojes marchan bien, pero el tiempo de Quito no es el

de un sistema en movimiento. Cada sistema tiene su tiempo propio. La duración del intervalo entre dos salvas fue, en realidad, de 60 segundos para Quito y de 54 segundos para el automóvil. Para obtener la duración de un fenómeno en Quito se necesita multiplicar la duración del mismo fenómeno, medida en el reloj del automóvil, por un cierto factor mayor que 1. (1)

(1) El valor exacto del coeficiente para el caso considerado se podría calcular así:

Supongamos que el automóvil se encuentre a 10.000 pies de distancia de Quito, en el instante de recibir la primera señal sonora. El tiempo empleado por el sonido en recorrer esta distancia, con la velocidad de 1.000 pies por segundo, fue entonces,

$$\frac{10.000}{1.000} = 10 \text{ segundos.}$$

El observador que en Quito despacha las señales comienza a contar los segundos desde el instante en que parte la primera señal, en tanto que el viajero del automóvil comienza la cuenta en el instante en que dicha señal llega al automóvil, es decir, 10 segundos después.

Como el automóvil marcha hacia Quito a 100 pies por segundo, durante los 50 segundos que median entre la llegada de la primera señal al automóvil y la partida de la segunda señal desde Quito el auto se habrá acercado $50 \times 100 = 5.000$ pies, y su distancia a Quito, será

$$10.000 - 5.000 = 5.000 \text{ pies,}$$

en el instante que la segunda detonación sale de Quito. Como esta señal y el automóvil marchan recíprocamente a su encuentro, con las velocidades respectivas de 1.000 y 100 pies por segundo, resulta que en cada segundo se acercan 1.100 pies. El tiempo que tardarán en encontrarse será entonces:

$$\frac{5.000}{1.100} = 4,55 \text{ segundos.}$$

La duración del intervalo con que el observador del automóvil recibe las señales sería entonces:

$$50 + 4,55 = 54,55 \text{ segundos,}$$

en tanto que el intervalo medido en Quito era de 60 segundos.

El observador del auto, para calcular la verdadera duración del intervalo en Quito, tendría que multiplicar a la duración medida por él, por el coeficiente

$$\frac{60}{54,55} = 1,1$$

Si las señales partieran del auto y fueran recibidas en Quito, el raciocinio debería ser el siguiente:

Supongamos que el automóvil envíe la primera señal cuando se encuentra a 10.000 pies de Quito. En esta ciudad será recibida

$$\frac{10.000}{1.000} = 10 \text{ segundos después.}$$

Como después de un minuto el automóvil ha recorrido $60 \times 100 = 6.000$ pies, al lanzar la segunda señal se encontrará a $10.000 - 6.000 = 4.000$ pies de Quito. La señal tardará, entonces,

Notemos, además, que si el campesino hubiera lanzado una señal sonora cada vez que su reloj marcaba 60 segundos, tales señales habrían sido recibidas en Quito no con el intervalo de 60, sino de 54 segundos y para calcular el tiempo del automóvil, por medio de las señales recibidas en Quito, se necesita multiplicar el tiempo medido en esta ciudad por el mismo factor mayor que 1 de que hemos hablado.

Estas divergencias entre las medidas del tiempo ocasionaría también diferencias en la apreciación o medida de las magnitudes físicas que dependen del tiempo, tales como la velocidad, aceleración, potencia, etc.

I I I

La velocidad de un mismo movimiento real es diferente para un observador móvil que para otro fijo.

Imaginemos que, en el carretero entre Quito y Machachi, se hubiera colocado postes numerados a la distancia de 6.000 pies, y que la Policía, para evitar accidentes de tráfico, o por cualquiera otra razón, prescribiese a los automóviles que toquen la sirena al llegar a cada uno de estos postes. Como nuestro automóvil marchaba a la velocidad de 100 pies por segundo, la distancia de 6.000 pies entre poste y poste habría sido recorrida en 60 segundos, de modo que debía tocar la sirena con este último intervalo de tiempo.

$$\frac{4.000}{1.000} = 4 \text{ segundos}$$

en llegar a esta ciudad. El intervalo entre las señales para un observador de Quito sería, entonces, $60 - 10 + 4 = 54$ segundos, mientras que en el auto fue de 60.

Para encontrar la duración de un fenómeno en el auto por medio de señales recibidas en Quito sería necesario, entonces, multiplicar el intervalo entre las señales recibidas en Quito por el coeficiente

$$\frac{60}{54} = 1,111$$

Este coeficiente depende de la velocidad del automóvil. Estos resultados están de acuerdo con la mecánica clásica. La teoría de la relatividad llega también a un resultado análogo. Para encontrar el tiempo t' de un sistema móvil conociendo el tiempo t de otro sistema, hay que multiplicar a este último por un cierto factor k , cuyo valor depende de la velocidad relativa de los dos sistemas. Los resultados no son idénticos, sino sólo análogos, debido a que la Mecánica Clásica no conocía el principio de la *constancia de la velocidad de la luz*, que es el fundamento de la teoría de la Relatividad.

Si un observador de Quito se hubiera propuesto apreciar la velocidad del automóvil, midiendo el tiempo entre dos pitadas consecutivas, obtendría para la velocidad buscada, no 6 000 pies en 60 segundos, como el viajero, sino 6.000 pies en 54 segundos, ya que, como hemos visto en el párrafo anterior, al intervalo de 60 segundos en el automóvil corresponden 54 segundos en Quito.

Todo esto que es perfectamente admisible, que no choca contra el *sentido común* de hombre alguno instruido, choca contra el *sentido común* del campesino. Pero estas consecuencias de la Física y Mecánica que todo el mundo conoce, lo son también de la teoría de la relatividad en lo relativo al tiempo, teoría tan rudamente combatida en nombre del *sentido común*, sobre todo por los físicos norteamericanos. Pero prosigamos nuestro análisis del tiempo.

IV

A un observador que se alejase de un reloj fijo con la velocidad de la luz, le parecería que dicho reloj ha parado. (1)

Utilizaremos, como antes, el ejemplo del automóvil, al que supondremos que sale de Quito con la velocidad de 1.000 pies por segundo, es decir, con la velocidad del sonido, en el instante en que se da una salva. Como el observador del automóvil sabe que después de un minuto sonará otra salva, esperará percibir la detonación después de dicho intervalo. Pero tal detonación no llegará jamás al automóvil, ya que ambos marchan con la misma velocidad y el sonido está muy atrás. Nuestro viajero creerá entonces que el reloj de Quito ha parado. Un minuto de Quito le parecerá inacabable, eterno.

V

La simultaneidad en la Mecánica Clásica.

Imaginemos que nuestro automóvil, al trasladarse a Machachi con la velocidad del sonido, lance una pitada en cada poste.

(1) En la demostración de este enunciado utilizamos, para mayor facilidad de exposición, el ejemplo del auto y la velocidad del sonido. Una demostración exacta debería basarse en la velocidad de la luz.

Como la distancia entre dos postes es de 6.000 pies y la velocidad del automóvil 1.000 pies por segundo, las pitadas se sucederán *en el carro* con el *intervalo de seis segundos*. ¿Cuál sería el intervalo de tiempo con el que llegarían las pitadas a Machachi? Niaguno. Todas llegarían juntas y un observador de dicha población pensaría que se han producido simultáneamente.

Y he aquí que lo simultáneo para el observador fijo no lo fué para el móvil.

Y he aquí el gran problema: Si lo simultáneo para uno no lo es para el otro, ¿existe la simultaneidad *absoluta*? Y si la duración de un fenómeno tampoco es la misma para dos observadores, ¿puede tener un fenómeno una duración *absoluta*? Luego, ¿en qué forma se puede concebir un *tiempo absoluto*? ¿No es más lógico admitir el tiempo local y calcular el tiempo de un sistema móvil, conociendo el tiempo de un sistema fijo, como lo hace la teoría de la Relatividad?

VI

Lo expuesto, sin embargo, no está exento de objeciones. Se observará primeramente, y con razón, que la velocidad del sonido es muy pequeña, y que cualquier persona racional no emplearía el sonido para esta clase de operaciones, sino señales luminosas, cuya propagación es incomparablemente más rápida, con lo que cambiarían por completo los resultados.

Contesto que, siendo la velocidad de la luz casi un millón de veces superior a la del sonido, bastaría multiplicar las distancias y velocidades consideradas por un millón para llegar a los mismos resultados.

Estas distancias no son imposibles, ya que la tierra y una estrella están tan alejadas entre sí que la luz tarda años y aún siglos en pasar de una a otra. En cuanto a las velocidades, recordemos que la tierra se mueve al rededor del sol con la velocidad de 30.000 metros por segundo y que en nuestra misma tierra las emanaciones de los cuerpos radioactivos tienen velocidades casi iguales a la de la luz.

Una segunda observación sería la de que las pitadas percibidas por el observador de Machachi fueron simultáneas *sólo en apariencia* y que el intervalo de 6 segundos medido por el viajero entre las mismas sí fue *absoluto*. Así mismo se dirá: el intervalo de 54 segundos medido por el observador del auto entre dos salvas era *sólo aparente*; la duración *absoluta* de dicho intervalo fue la de 60 segundos, medida por los relojes de Quito.

Pero esta objeción se reduce a una cuestión de nombres: a llamar absoluta a la duración del fenómeno medida en el lugar donde éste se produjo y aparentes a las otras; no prueba que tal duración sea idéntica para todos los observadores. Cada sistema, cada observador en movimiento tendría, entonces, su tiempo absoluto. Habrían *muchos tiempos absolutos diferentes*, en lo que está de acuerdo la teoría de la Relatividad, sólo que los llama, con mayor modestia, *tiempos locales*.

CAPITULO TERCERO

El Espacio-Tiempo



Diferencia entre la magnitud fundamental tiempo y las magnitudes fundamentales longitud y masa.

¿Cómo medimos la longitud de un camino? Tomamos una regla AB de un metro, a la que consideramos invariable y la aplicamos a la vía, de modo que el extremo A coincida con el principio de aquella y señalamos el punto donde coincide el otro extremo B de la regla con el número 1. Levantamos la regla y la aplicamos otra vez a la vía, de modo que el extremo A coincida con el punto 1 y señalamos otro punto 2 donde coincide el extremo B de la regla. Repitiendo la misma operación hasta llegar al fin del camino, obtendremos en metros la longitud de este, que no es sino el número de veces que ha sido necesario aplicar la regla, en la forma descrita.

En todas estas operaciones mantenemos constantemente la regla con nosotros, de modo que, así, estamos seguros de su identidad. Y si variáramos de regla, nos aseguraríamos previamente de que la longitud de la antigua regla es igual a la de la nueva, para lo que podemos disponer siempre del tiempo necesario. Es seguro que no nos inspiraría ninguna confianza una medida, si para cada metro de longitud, hubiéramos empleado reglas distintas, sin asegurarnos de que todas fueron iguales. Cualquiera tendría derecho a exigirnos la repetición de la medi-

da con una sola vara, o que, al menos, se compruebe la identidad de las reglas empleadas.

En la medida del tiempo, en la que no nos es posible mantener a un mismo segundo en nuestras manos para poderlo comparar con otro segundo, en la que a cada instante tenemos que cambiar de vara de medida, permítaseme la expresión, no nos mostramos tan exigentes. ¿Por qué? Por la imposibilidad de las comprobaciones. Pero, entonces, ¿cómo salvamos la dificultad? *Con la simple suposición de que todos los segundos son iguales*

II

Analogías entre el tiempo y una longitud.
¿Cómo se describe el tiempo, cómo la línea?

EL TIEMPO

1º Como una sucesión de instantes distintos, pero con-
tiguos.

2º Por pequeña que sea una duración, siempre la podemos suponer compuesta de duraciones más pequeñas, a las que a su vez podemos subdividir mental o experimentalmente en otras más chicas, y así en adelante, hasta el infinito.

Por larga que sea una duración podemos añadirle una duración igual y concebir así una duración mayor, pareciéndonos posible, por esto, un tiempo infinito.

LA LÍNEA

Como una sucesión de puntos distintos, pero vecinos.

Por pequeño que sea un segmento, lo podemos suponer formado por otros segmentos más pequeños, a los que podemos subdividir todavía indefinidamente.

Por grande que sea un segmento de línea, lo podemos duplicar, y podemos repetir esta misma operación con su resultado cuantas veces queramos; lo que nos conduce a la noción de una longitud infinita.

DIFERENCIA ESENCIAL

Pero no somos capaces de percibir más que un sólo instante: el instante presente; de los pasados sólo conservamos el re-

cuerdo, es decir una imagen muy débil, y sólo po le nos imaginar el porvenir; en tanto que, de una línea percibimos sumultáneamente una infinidad de puntos.

Estas analogías y diferencias entre el tiempo y las longitudes se han presentado tan claras al espíritu del hombre que, desde hace muchos siglos, los filósofos escolásticos han sostenido que nuestra noción del tiempo nace sólo de que somos incapaces de percibir el mundo tal como es en realidad y, pensando en la posibilidad de un ser más perfecto que nosotros, han llegado a la noción de Dios, *para quien todos los instantes son presentes* (1)

Se comprende que, considerando al tiempo como una dimensión, la Mecánica, perdiendo lo que tiene de contingente, se transformaría en una ciencia casi perfecta, como la Geometría.

Sin embargo, por la costumbre de considerar al tiempo como algo esencialmente distinto de una dimensión, se nos hace tan difícil concebir su identidad, que es indispensable insistir en este punto.

III

Un ser lineal percibirá el tiempo solamente, no el espacio.

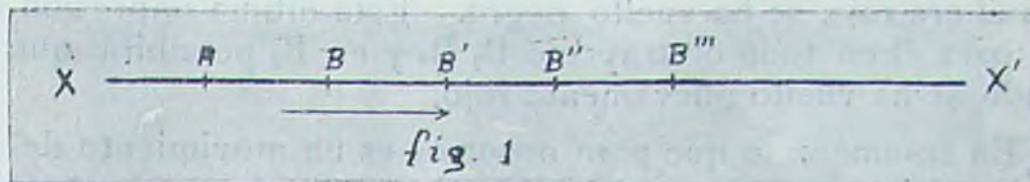
He hablado de la hipótesis escolástica relativa a la existencia de un ser más perfecto que nosotros. Emitiré ahora la hipótesis contraria, la de un ser menos perfecto, sin pretender su existencia real y sólo con el fin de analizar las ideas que él adquiriría del mundo, en las condiciones en que lo vamos a colocar.

Algo análogo hacen los geómetras cuando estudian las propiedades de la línea recta, siendo así que esta última no existe en la naturaleza, sino sólo cuerpos rectilíneos. Los teoremas deducidos por los geómetras son, sin embargo, verdaderos y se comprobarían plenamente en las líneas rectas en caso de que estas existieran.

Bien. Concedamos a nuestro ser:

1º Un mundo lineal. Todo su universo es una línea XX' , y él una parte, un segmento AB de esa línea, segmento que sería para él su mundo interno.

(1) Es muy interesante leer, a éste respecto, los capítulos relativos al tiempo y al Espacio, de la Filosofía Fundamental de Balmes, y ver cómo este filósofo escolástico intuye la casi identidad entre estas magnitudes, identidad que es la base de la Teoría actual del Universo de cuatro dimensiones, de Minkowski y Einstein.



2º Sensibilidad en uno de los puntos de separación de su mundo interno con el externo, por ejemplo en B , donde se superpondrán todas las impresiones táctiles, luminosas o de cualquier otra naturaleza. Este ser experimentaría sólo una impresión resultante de todas aquellas, localizada en B , punto al que se reduciría todo su mundo externo.

3º Conciencia y, por tanto:

a) Memoria, es decir, capacidad de recordar las sensaciones pasadas.

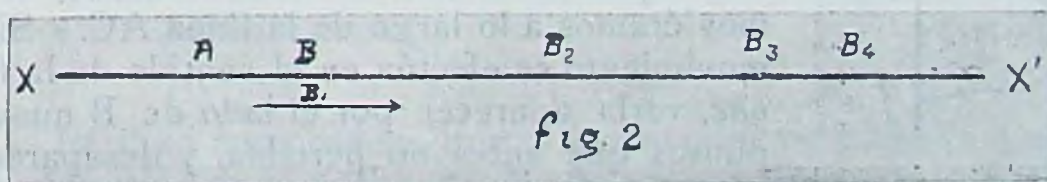
b) Facultad de distinguir una sensación de otra.

Sometamos a nuestro observador a las siguientes experiencias:

Movámosle en la línea XX' de modo que el punto B ocupe sucesivamente las posiciones B' , B'' , B''' etc. ¿Qué impresiones recibirá el ser lineal AB ?

a) Si todos los puntos de XX' son iguales, no le será posible observar ningún cambio. Ocurrirá lo que con un viajero en alta mar; como no tiene puntos de referencia, no se da cuenta de su propio movimiento de traslación.

b) Si los puntos de XX' no son iguales, y si, por ejemplo, XX' está dividido en segmentos $B_1 B_2$, $B_2 B_3$, $B_3 B_4$, etc., y las propiedades de XX' son diferentes en cada segmento (para concretar las ideas los supondremos alternativamente rojos y negros) (1) ocurrirá lo siguiente: Entre B_1 y B_2 siendo todos los



rojo negro rojo

puntos iguales, al recorrer la distancia $B_1 B_2$ no podrá distinguir un punto de otro. Pero al pasar B_2 , notará que su punto B , que

(1) Por las dificultades de imprenta, no ha sido posible dividir en segmentos alternativamente negros y rojos a las líneas XX' de las figuras 2 y 4, de acuerdo con las figuras originales. Hemos llenado, en parte, esta deficiencia, indicando con letras las zonas en las cuales dichas líneas deben ser rojas o negras.

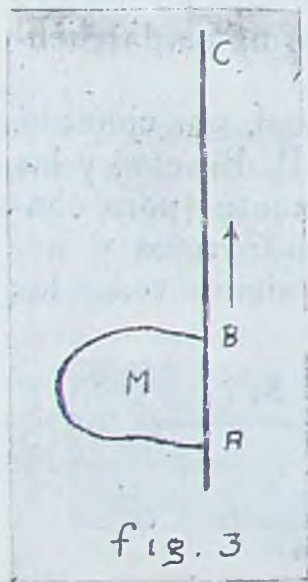
para él era rojo, se ha vuelto negro. Esta última impresión durará para él en todo el trayecto $B_2 B_3$ y en B_3 percibirá que su mundo se ha vuelto nuevamente rojo.

En resumen: lo que para nosotros es un movimiento de AB a lo largo de segmentos negros y rojos, para él es una sucesión de temporadas en las cuales su mundo es alternativamente negro y rojo. Lo que para nosotros es una longitud, es para él un tiempo.

IV

Un ser de dos dimensiones solo puede percibir un mundo lineal y el tiempo.

Dotémosle ahora a nuestro observador de una dimensión más y de una sensibilidad lineal. Vivirá entonces, en una superficie que, por sencillez, supondremos plana. El lindero entre sus mundos interno y externo sería, entonces, una línea, un segmento de la cual, AB, supondremos sensible y, por tanto, le servirá de ventana para relacionarse con su mundo externo.

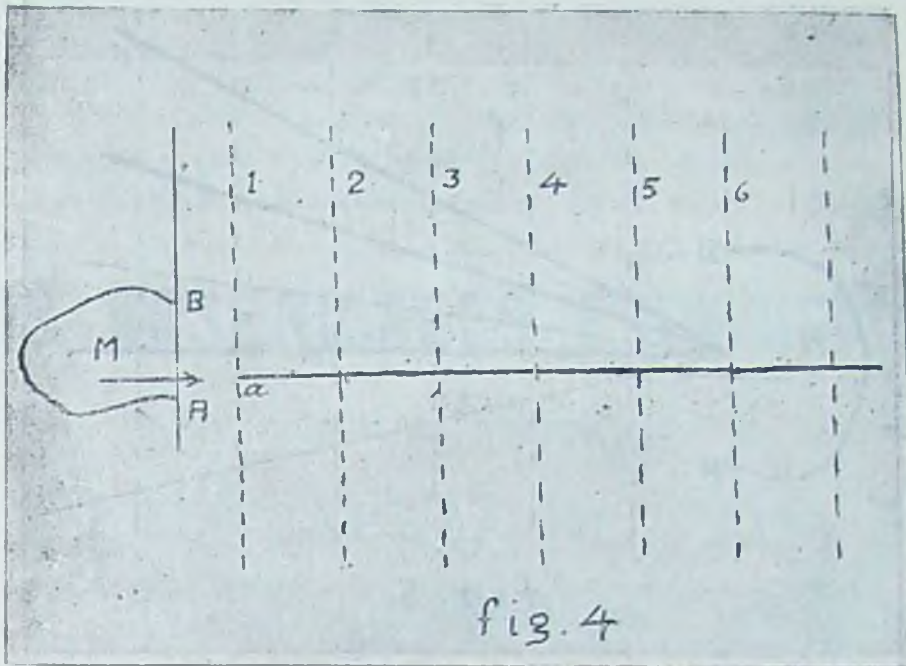


Entre este ser y el anterior existe una considerable diferencia: el primero sólo podía percibir un punto en el mismo instante; éste percibe simultáneamente todos los del segmento AB. Su mundo exterior le parecería una línea de longitud AB. Comprendería que su mundo es más extenso, si le moviéramos a lo largo de la línea AC. Si el movimiento se efectúa en el sentido de la flecha, vería aparecer por el lado de B nuevos puntos que antes no percibía, y desaparecer por el lado de A otros puntos antes percibidos.

Como estas apariciones y desapariciones son graduales, siempre hay una parte del segmento que nuestro ser sigue percibiendo, mientras se efectúan estos cambios.

El espacio lineal le parecería un continuo prolongable indefinidamente en uno y otro sentido.

Hagámosle mover ahora en el sentido de la flecha, de modo que ocupe sucesivamente las posiciones 1, 2, 3, etc. fig. 4. Al llegar a 1, percibirá la aparición de un punto negro a , cuya presen-



negro rojo negro rojo negro rojo

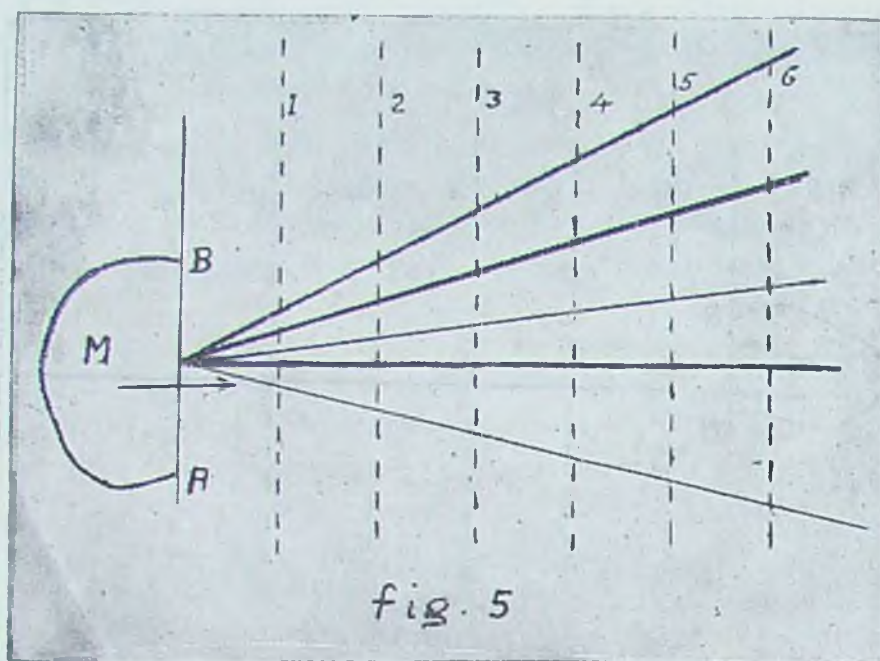
cia se prolongaría en el trayecto 1-2, al fin del cual sería sustituido por un rojo, el que sería reemplazado nuevamente por un punto negro al llegar a 3, y así sucesivamente. Si la línea a-b fuese indefinida, nuestro observador formularía como una ley general de la naturaleza el cambio de coloración del punto a .

ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

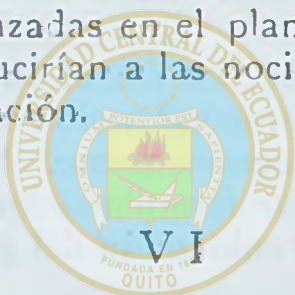
V

El movimiento, la velocidad, la inercia y la gravitación para un ser bidimensional.

Fácil es comprender que al moverse el ser bidimensional M en el sentido de la flecha, ocupando sucesivamente las posiciones 1, 2, 3, 4, 5, etc., fig. 5 una línea recta paralela al movimiento de M se traduciría para este en el *reposo* de un punto; una recta inclinada, en el *movimiento uniforme* de otro punto, de *velocidad* tanto mayor para él cuanto mayor sea para nosotros la *inclinación* de dicha recta; que, trazando muchas rectas en el plano sometido a la observación *sucesiva* de M, éste llegaría a enunciar como ley de la naturaleza que todo punto en reposo permanece eternamente en él, y que el movimiento de un punto se conserva indefinidamente: es decir, el principio de la inercia.



Las parábolas trazadas en el plano y cierta clase de movimientos de M, le conducirían a las nociones de aceleración, fuerza y campos de gravitación.



VI
ÁREA HISTÓRICA
DEL CENTRO DE INFORMACIÓN INTEGRAL

El mundo para un ser de tres y más dimensiones.

Es sabido que el contorno de una figura de tres dimensiones es una superficie. Si concebimos un ser de tres dimensiones, dotado de sensibilidad y conciencia, es fácil comprender, por lo anterior, que el mundo le parecería una superficie, y que, al moverse adquiriría la ilusión del tiempo.

Finalmente, si un ser percibe simultáneamente n dimensiones y, además, observa cambios que en el espacio exterior se verifican, es porque se mueve en un espacio real de $n+1$ dimensiones.

Corolario. — Si nosotros percibimos un espacio de tres dimensiones y concebimos el tiempo, es porque, en realidad, nuestro espacio verdadero tiene cuatro dimensiones.