

# **SOBRE LA CONCEPCION FÍSICA DEL TIEMPO**

- 1. INTENTAR UNA DEFINICIÓN.**
- 2. MEDIR EL TIEMPO.**

## 1. INTENTAR UNA DEFINICIÓN:

El concepto de tiempo es uno de los más fundamentales, y también más complicados, del quehacer de la Física.

Hasta los comienzos del siglo XX se concebía el tiempo, y también el espacio, como algo independiente de la materia y del observador, como algo absoluto, inmutable y preexistente a toda la materia. Tanto el espacio como el tiempo, ambos en conjunto, se entendían como un inmenso contenedor de todo lo existente, como un gran escenario inmutable en el que se desplazan los móviles, se transfieren las formas de la energía y donde imperan, de forma absoluta, las leyes invariantes de la Física. Es el tiempo absoluto del transcurrir uniforme de la mecánica clásica de Galileo y Newton, el llamado *tiempo absoluto newtoniano*.

Hoy entendemos que ni el tiempo, ni tampoco el espacio, son en absoluto independientes de la materia. Realmente, el tiempo es una forma de existencia de la materia. El tiempo va indisolublemente unido a los estados materiales, y puede medirse mediante una estructura métrica.

Entendemos, pues, que el concepto de tiempo ha de encerrar dos nociones fundamentales: el orden de los estados y la estructura métrica.

### - El orden de los estados

Si el universo fuera estático podría fijarse un sistema referencial de coordenadas y medir respecto a él la posición absoluta e inmutable de cualquiera de los objetos. Pero el que el universo sea algo dinámico, en movimiento evolutivo continuo, hace que la realización de dos o más medidas espaciales ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) de un mismo punto nos muestren valores diferentes.

Es preciso describir esta variabilidad de los estados de los puntos del espacio como dependientes de un parámetro  $t$  que denominamos *tiempo físico* y que varía en el campo continuo infinito de los números reales.

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$$

Esto nos indica que para cada valor de la variable  $t$  existe una medida, un estado, o una estructura. Es decir, nos permite ordenar los estados con respecto a los valores del tiempo físico  $t$ .

Así, si para un conjunto de valores de  $t$   $\{t_1, t_2, t_3, \dots\}$  quedan definidas las estructuras de estados  $\{E_1(x, y, z), E_2(x, y, z), E_3(x, y, z), \dots\}$ , podemos considerar el conjunto de pares ordenados con respecto a los valores de  $t$ :

$$\{(E_1, t_1), (E_2, t_2), (E_3, t_3), \dots\}$$

este conjunto de pares, en donde en general intervienen magnitudes espaciales tanto como dinámicas - masa y fuerza, por ejemplo- define una función por la que se asigna un estado a cada valor de  $t$ :

$$E = E(x, y, z, t, m, F)$$

Esto implica una relación de orden en los estados asociada a la relación de orden de la variable  $t$  dentro del continuo de los números reales. Así, decimos que la estructura de estado  $E1$  es anterior a la estructura de estado  $E2$ , si el tiempo  $t1$  es menor que el tiempo  $t2$ .

Al tratarse de una relación de orden en los números reales - es reflexiva, antisimétrica y transitiva - también es una relación de orden en el conjunto de las correspondientes estructuras de los estados.

Los valores que toma el tiempo físico  $t$  quedan, así, indisolublemente unidos a los valores de una sucesión de estructuras de estados de la materia en cualesquiera sistemas de coordenadas, de forma que cualquier modificación en las estructuras de los estados implica una variación en el tiempo físico  $t$ .

$$E = E(x, y, z, t, m, F) \Rightarrow t = t(m, F, x, y, z)$$

No podemos, en definitiva, de hablar del tiempo físico,  $t$ , como de una variable en sí misma, independiente de los estados, pues entonces se reduciría, sencillamente, al continuo de los números reales.

Existe, en definitiva, una correspondencia biunívoca entre las sucesiones de los estados materiales y los correspondientes valores del tiempo físico  $t$ .

#### - La estructura métrica

El sentido físico del tiempo  $t$  es el de *duración física* de una parte del universo o de todo el universo en conjunto, esto es, separación entre estados materiales. Es necesario, en definitiva, asignar un valor numérico a esta duración física, es decir a la diferencia de la variable  $t$  entre los estados  $E1$  y  $E2$ , que permita compararlo con el valor numérico que se le asigne a la diferencia de la variable  $t$  entre otros dos estados  $E2$  y  $E3$ .

La idea de duración física puede resultar, sin embargo, engañosa, pues el ser humano clasifica la duración de los fenómenos a partir de la visualización de su existencia en diferentes estados, a los que clasifica en presente, pasado y futuro. Es esto lo que se denomina *tiempo psicológico*, que crea en la mente la falsa noción de un tiempo uniforme y absoluto, es decir, del *tiempo absoluto newtoniano*.

Sin embargo, el análisis relativista del tiempo, realizado desde los trabajos teóricos de Alberto Einstein, ha obligado a rechazar la idea de *tiempo absoluto*. Con su introducción como variable física respecto de la cual se ordenan los estados físicos se desprende que solamente tiene sentido hablar de tiempo respecto a un sistema físico que atraviesa diferentes estados  $y$ , a través de él, respecto de un sistema de coordenadas que define los estados físicos del sistema. Cambiando de sistema de coordenadas se cambia, por tanto, de ordenación con respecto a  $t$ . Esto es lo que se da en llamar *relatividad del tiempo*.

Esto nos conduce de forma natural al resultado de que la estructura métrica del tiempo es relativa a un sistema físico determinado, en un sistema de coordenadas arbitrario.

Establecer una métrica del tiempo equivale a definir matemáticamente el intervalo temporal, o distancia, entre dos valores distintos de  $t$ . Ahora bien, los valores de  $t$  (números reales) solo tienen significado de tiempo físico cuando están ordenados a las diversas estructuras del universo mediante las ecuaciones de la física  $E = E(x, y, z, t, m, F)$  establecidas en un sistema de coordenadas cualesquiera. Entonces queda automáticamente definida la relación temporal

Así, los intervalos entre  $E_1$  y  $E_2$ , y entre  $E_2$  y  $E_3$  quedan entonces definidos por los intervalos entre  $t_1$  y  $t_2$  y entre  $t_2$  y  $t_3$ , en el continuo de los números reales. Son las ecuaciones físicas las que fijan la especial ordenación temporal y, por consiguiente, la duración del intervalo.

Se postula que el tiempo  $t$  de la dinámica, tanto clásica como cuántica, es uniforme, homogéneo, en el sentido de que las leyes de la dinámica no se modifican en el transcurrir de  $t$ . Podemos definirlo así: *tiempo uniforme es la variable  $t$  independiente de las ecuaciones de la dinámica, cuyo campo de variabilidad es el continuo de los números reales y cuya estructura métrica está definida por dichas ecuaciones.*

## 2. MEDIR EL TIEMPO:

La caracterización de los estados materiales ordenados por su correspondencia biunívoca con los valores del tiempo  $t$ , de métrica definida por las ecuaciones de la dinámica, hace necesario tanto referirlo a un sistema de coordenadas como también establecer, fijar, una unidad de medición, un intervalo arbitrario bien definido, de forma que permita la comparación experimental de la duración física de un suceso con la duración física de otro suceso diferente.

Se hace necesario, en definitiva, el usar algún sistema en donde fijar la unidad de medición y el sistema de coordenadas. Este sistema es lo que podemos llamar un *reloj*.

### - Relojes

Al estudiar el movimiento de un cuerpo cualquiera podemos expresar sus coordenadas, velocidad, aceleración, etc., en función  $t$  mediante las ecuaciones dinámicas de su movimiento. Estas ecuaciones definen automáticamente el tiempo  $t$  y nos proporcionan el medio práctico para hallarlo. En efecto, a cada valor de  $t$  le corresponden unas coordenadas determinadas por las ecuaciones. Basta, por consiguiente, medir experimentalmente las coordenadas para tener el tiempo  $t$  que ellas mismas nos indican. Así, pues, entenderemos como reloj a todo sistema físico que permita determinar mediante sus ecuaciones de movimiento la variable tiempo  $t$  correspondiente a un estado del sistema. Por comodidad se suelen elegir como relojes sistemas que repitan periódicamente su estado.

Aunque la medición del tiempo no está necesariamente unida al estado de los cuerpos celestes, desde la antigüedad se elige nuestro sistema planetario como reloj debido a que los movimientos de los planetas se efectúan prácticamente sin rozamiento y son, también en la práctica, independientes de la constitución física de los astros. Por otra parte, las fuerzas a las que están sometidos se pueden determinar con una gran precisión, mientras que los relojes mecánicos construidos por el hombre están sometidos a los consabidos desgastes, roces y deformaciones.

### - Efemérides

Se denomina en Astronomía *Efemérides de un Astro* a la función que relaciona las coordenadas del mismo con la variable tiempo  $t$  de la dinámica. Estas funciones se obtienen desde las ecuaciones dinámicas que describen el movimiento del astro y en general pueden expresarse mediante desarrollos polinómicos de la forma

$$c1(t) = \sum_{i=1} m_{1i} t^i, \quad c2(t) = \sum_{i=1} m_{2i} t^i$$

donde las  $c1(t)$  y  $c2(t)$  son las dos coordenadas astronómicas del astro y los coeficientes  $m_{1i}$ ,  $m_{2i}$ , dependen de las constantes de la integración de tales ecuaciones dinámicas. El valor numérico de estos coeficientes se puede determinar mediante observaciones experimentales, y queda, por consiguiente, sujeto a los errores propios de las mismas.

Las efemérides de un astro se representan generalmente por tablas en donde aparecen los valores de las coordenadas para distintos valores de la variable temporal  $t$ . La observación astronómica de las efemérides de un astro conduce, por consiguiente, efectuando una interpolación inversa, a la determinación del argumento  $t$ .

Definiendo, por consiguiente, unas efemérides, queda definido implícitamente el tiempo. Es posible, entonces, elegir un intervalo de ese tiempo como unidad de tiempo y definir un tiempo  $t=0$  como origen de tiempo a partir del cual se mide los valores de  $t$  con la unidad elegida. Tenemos así constituida una *escala de tiempo*.

- **La escala de las efemérides del Sol**

Se acostumbra a llamar *año trópico* al tiempo necesario para que la longitud media del Sol aumente en  $360^\circ$ .

En la llamada escala TE, el origen corresponde aproximadamente a la longitud media del Sol al comienzo del año 1900 (llamado por ello, año trópico 1900.0). La unidad fundamental de tiempo en esta escala es el segundo, definido mediante una fracción del año trópico:

$$\frac{1}{31556925,97474}$$

En resumen, el tiempo se mide fundamentalmente en Astronomía en la escala de las Efemérides del Sol. Sin embargo, existen otras escalas, como la del Tiempo Sidéreo o la del Tiempo Solar Medio, que se emplean en la práctica. De todos modos, la uniformidad de estas escalas se determina con respecto a la escala TE de las Efemérides del Sol, que constituye, en la práctica, la escala fundamental de la medida del tiempo.