

EL TIEMPO

Galileo Galilei, *Diálogo sobre los 2 sistemas del mundo* (1632).

Encerraos con algún amigo en la mayor estancia que esté bajo cubierta de algún navío, y meted en ella moscas, mariposas y animalillos voladores parecidos. Haya también un recipiente grande de agua con pececillos dentro. Además manténgase en alto un cubo, que gota a gota vaya dejando caer el agua en otro recipiente de boca estrecha, situado debajo. Cuando la nave está quieta, observad atentamente que los animalillos volantes se mueven en todas las direcciones de la estancia con igual velocidad. Veréis que los peces nadan indistintamente hacia todos los lados. Las gotas que caen entrarán todas en la vasija situada debajo. Y vos, al tirar algo al amigo, si las distancias son iguales, no tendréis que lanzarla con más fuerza hacia una parte que hacia otra, si las distancias son iguales. Y si saltáis, como suele decirse, con los pies juntos, os desplazaréis igual espacio con independencia de la dirección. Una vez que hayáis observado diligentemente todas estas cosas aunque no haya ninguna duda de que mientras el bajel está parado tienen que suceder así, haced mover la nave con la velocidad que sea. Veréis que (con tal que el movimiento sea uniforme y no fluctuante hacia aquí y hacia allá) no observaréis el más mínimo cambio en ninguno de los efectos mencionados y que, a partir de ellos no podréis determinar si la nave avanza o está quieta. Al saltar, os desplazaréis en el entablado los mismos espacios que antes y no se dará el caso de que, porque la nave se mueva velocísimamente, daréis mayores saltos hacia popa que hacia proa aunque en el tiempo que estáis en el aire el entablado que está debajo de vos se desplace hacia la parte contraria a vuestro salto.

Albert Einstein, *Sobre la teoría de la relatividad especial y general* (1916).

1. A la pregunta de por qué cae al suelo una piedra levantada y soltada en el aire suele contestarse «porque es atraída por la Tierra». La física moderna formula la respuesta de un modo algo distinto, por la siguiente razón. A través de un estudio más detenido de los fenómenos electromagnéticos se ha llegado a la conclusión de que no existe una acción inmediata a distancia. Cuando un imán atrae un trozo de hierro, por ejemplo, no puede uno contentarse con la explicación de que el imán actúa directamente sobre el hierro a través del espacio intermedio vacío; lo que se hace es, según idea de Faraday, imaginar que el imán crea siempre en el espacio circundante algo físicamente real que se denomina «campo magnético». Este campo magnético actúa a su vez sobre el trozo de hierro, que tiende a moverse hacia el imán. No vamos a entrar aquí en la justificación de este concepto interviniente que en sí es arbitrario. Señalemos tan sólo que con su ayuda es posible explicar teóricamente de modo mucho más satisfactorio los fenómenos electromagnéticos, y en especial la propagación de las ondas electromagnéticas. De manera análoga se interpreta también la acción de la gravedad.

2. Imaginemos [...] un disco circular [K'] que gira uniformemente alrededor de su centro [K] y en su mismo plano. Un observador sentado en posición excéntrica sobre el disco circular K'

experimenta una fuerza que actúa en dirección radial hacia afuera y que otro observador que se halle en reposo respecto al cuerpo de referencia original K interpreta como acción inercial (fuerza centrífuga). [...] Este observador, instalado en su disco circular, experimenta con relojes y reglas, con la intención de obtener, a partir de lo observado, definiciones exactas para el significado de los datos temporales y espaciales respecto al disco circular K' . ¿Qué experiencias tendrá en ese intento? Imaginemos que el observador coloca primero dos relojes de idéntica constitución, uno en el punto medio del disco circular, el otro en la periferia del mismo, de manera que ambos se hallan en reposo respecto al disco. En primer lugar nos preguntamos si estos dos relojes marchan o no igual de rápido desde el punto de vista del cuerpo de referencia de Galileo K , que no rota. Juzgado desde K , el reloj situado en el centro no tiene ninguna velocidad, mientras que el de la periferia, debido a la rotación respecto a K , está en movimiento. Según un resultado de §12, este segundo reloj marchará constantemente más despacio respecto a K que el reloj situado en el centro del disco circular. Lo mismo debería evidentemente constatar el hombre del disco, a quien vamos a imaginar sentado en el centro, junto al reloj que hay allí. Así pues, en nuestro disco circular, y con más generalidad en cualquier campo gravitatorio, los relojes marcharán más deprisa o más despacio según el lugar que ocupe el reloj (en reposo). Por consiguiente, con ayuda de relojes colocados en reposo respecto al cuerpo de referencia no es posible dar una definición razonable del tiempo.

3. *El espacio cuatridimensional de Minkowski.* El no matemático se siente sobrecogido por un escalofrío místico al oír la palabra «cuatridimensional», una sensación no disímil de la provocada por el fantasma de una comedia. Y, sin embargo, no hay enunciado más banal que el que afirma que nuestro mundo cotidiano es un continuo espacio-temporal cuatridimensional. El *espacio* es un continuo tridimensional. Quiere decir esto que es posible describir la posición de un punto (en reposo) mediante tres números x, y, z (coordenadas) y que, dado cualquier punto, existen puntos arbitrariamente «próximos» cuya posición se puede describir mediante valores coordenados (coordenadas) x_1, y_1, z_1 que se aproximan arbitrariamente a las coordenadas x, y, z del primero. Debido a esta última propiedad hablamos de un «continuo»; debido al carácter triple de las coordenadas, de «tridimensional».

Análogamente ocurre con el universo del acontecer físico, [...] que es naturalmente cuatridimensional en el sentido espacio-temporal. Pues ese universo se compone de sucesos individuales, cada uno de los cuales puede describirse mediante cuatro números, a saber, tres coordenadas espaciales x, y, z y una coordenada temporal, el valor del tiempo t . El «universo» es en este sentido también un continuo, pues para cada suceso existen otros (reales o imaginables) arbitrariamente «próximos» cuyas coordenadas x_1, y_1, z_1, t_1 se diferencian arbitrariamente poco de las del suceso contemplado x, y, z, t . El que no estemos acostumbrados a concebir el mundo en este sentido como un continuo cuatridimensional se debe a que el tiempo desempeñó en la física prerrelativista un papel distinto, más independiente, frente a las coordenadas espaciales, por lo cual nos hemos habituado a tratar el tiempo como un continuo independiente. De hecho, en la física clásica el tiempo es absoluto, es decir, independiente de la posición y *del estado de movimiento* del sistema de referencia, lo cual queda patente en la última ecuación de la transformación de Galileo ($t' = t$).