

1. Tacto y vista: la tierra y los cielos

Todo el mundo sabe que Einstein hizo algo asombroso, pero muy pocos saben con exactitud qué fue lo que hizo. Todos reconocen que revolucionó nuestra concepción del mundo físico, pero las nuevas concepciones están envueltas en tecnicismos matemáticos. Es cierto que hay innumerables exposiciones de tipo popular de la teoría de la relatividad, pero en general dejan de ser inteligibles en el momento en que empiezan a decir algo importante. Apenas si podemos reprochar a sus autores por ello. Muchas de las nuevas ideas se pueden expresar en un lenguaje no matemático, pero no por ello dejan de ser menos difíciles. Lo que se pide es un cambio en nuestra concepción del mundo, concepción que viene de muy atrás, de nuestros antepasados prehumanos quizá, y que cada uno de nosotros hemos aprendido desde nuestra más tierna infancia. Un cambio en nuestra imaginación es siempre difícil, especialmente cuando ya no somos jóvenes. Copérnico pedía esta misma clase de cambio cuando enseñó que la tierra no está quieta y que los cielos no giran a su alrededor una vez al día. Esta idea no es difícil para nosotros, porque la hemos aprendido antes de que se fijaran nuestros hábitos mentales. De la misma manera, las ideas de Einstein parecerán más fáciles a las generaciones que crezcan con ellas. De todos modos, nos es inevitable cierto esfuerzo de reconstrucción imaginativa.

Para la exploración de la superficie de la tierra nos servimos de todos nuestros sentidos, y más particularmente de los sentidos del tacto y de la vista. En épocas precientíficas, se empleaban partes del cuerpo humano para medir la longitud: un «pie», un «codo», un «palmo» están definidos en este sentido. Para mayores distancias pensamos en el tiempo que se tarda en ir de un lugar a otro. Gradualmente aprendemos a juzgar la distancia de modo general a ojo, y para mayor precisión nos apoyamos en el tacto.

Es el tacto, además, el que nos da el sentido de la «realidad». Ciertas cosas no se pueden tocar: el arco iris, los reflejos en nuestros espejos, etc. Son las cosas que dejan perplejos a los niños cuyas especulaciones metafísicas se detienen porque se les ha enseñado que lo que hay en el espejo no es «real». El puñal de Macbeth era irreal porque no era «tan sensible al tacto como a la vista». No sólo nuestra geometría y nuestra física, sino también toda nuestra concepción de lo que existe fuera de nosotros están basadas en el sentido del

tacto. Llevamos esto hasta nuestras metáforas: una buena conversación es «sólida», una mala conversación es «vaporosa», porque creemos que un gas no es completamente «real».

Al estudiar los cielos nos vemos privados de todos los sentidos, a excepción de la vista. No podemos tocar el sol, o viajar hasta él. Tampoco podemos caminar alrededor de la luna, ni aplicar la medida del pie a las Pléyades. Sin embargo, los astrónomos han aplicado constantemente a ellos la geometría y la física que creían válida para la superficie de la tierra y que se basaba en el tacto y en el camino. Al obrar así, no dejaban de tener sus dudas y quebraderos de cabeza, que Einstein había de aclarar. El resultado es que mucho de lo que aprendimos por el sentido del tacto no era más que un prejuicio acientífico, que debemos rechazar si queremos tener una idea verdadera del mundo.

Un ejemplo nos puede ayudar a comprender la imposibilidad que tiene el astrónomo de aplicar estos métodos cuando se le compara con el hombre interesado por cosas que están en la superficie de la tierra. Imagínate que acabas de tomar una píldora que te deja temporalmente inconsciente y que, al volver en ti, has perdido la memoria, pero no la facultad de razonar. Supón también que mientras te encontrabas inconsciente te montaron en un globo que, empujado por el viento, navega contigo hacia una noche oscura: la noche del 5 de noviembre, si estás en Inglaterra, o la del 14 de julio, si estás en América. Desde el globo puedes ver los fuegos artificiales lanzados desde tierra, desde los trenes y aeroplanos que marchan en todas direcciones, pero no puedes ver el suelo, ni los trenes o aeroplanos a causa de la oscuridad. ¿Qué tipo de visión del mundo te formarás? Puedes pensar que nada está fijo: sólo hay breves ráfagas de luz que, durante su corta existencia, caminan a través del vacío, formando las curvas más variadas y extrañas. Tampoco puedes tocar estas ráfagas de luz, solamente puedes verlas. Evidentemente, tu geometría y tu física serán completamente diferentes de las de los simples mortales. Si un simple mortal estuviera contigo en el globo, encontrarías ininteligible su conversación. Pero si estuviera Einstein, le comprenderías más fácilmente que el común de los mortales. Te verías libre de una serie de prejuicios que impiden a la mayoría de las personas poder entenderle.

La teoría de la relatividad consiste, en buena parte, en desprenderse de

las nociones que son útiles en la vida ordinaria, pero que no sirven a nuestro drogado hombre del globo. Circunstancias de la superficie de la tierra, por varias razones más o menos accidentales, sugieren concepciones que luego resultan inadecuadas, aunque se hayan llegado a considerar como exigencias del conocimiento. La más importante de estas circunstancias es que la mayoría de los objetos de la superficie de la tierra están totalmente firmes y casi estacionarios desde un punto de vista terrestre. Si esto no fuera así, la idea de emprender un viaje no parecería tan concreta y definida cómo es. Si quieres viajar de King's Cross a Edimburgo, sabes que encontrarás a King's Cross donde ha estado siempre, que la línea del ferrocarril seguirá el mismo trayecto del último viaje que hiciste y que la Waverley Station de Edimburgo no se ha desplazado al castillo. Sabes, pues, y lo crees, que has viajado a Edimburgo, no que Edimburgo ha venido a ti, si bien esta última afirmación sería al menos tan exacta como la primera. El éxito de este punto de vista del sentido común depende de una serie de cosas que caen dentro de lo que llamamos suerte. Supón que todas las casas de Londres estuvieran girando constantemente, como un enjambre de abejas. Imagínate que los ferrocarriles se movieran y adoptaran unas formas semejantes a avalanchas. Finalmente, puedes figurarte que los objetos estuvieran en perpetuo movimiento formándose y disolviéndose como las nubes. No hay nada imposible en estas suposiciones. Pero, naturalmente, lo que llamamos un viaje a Edimburgo, no tiene sentido en esta clase de mundo. Comenzarías sin duda a preguntar al taxista: «¿Dónde cae esta mañana King's Cross?» En la estación tendrías que hacer una pregunta semejante respecto a Edimburgo. Pero el empleado de la oficina respondería: «¿A qué parte de Edimburgo se refiere, señor?». Prince's Street se ha desplazado a Glasgow, el castillo subió a las Highlands y Waverley Station está bajo el agua en medio del Firth of Forth». Aparte de esto, durante el viaje, las estaciones no habrían permanecido quietas, pues unas se habrían desplazado al norte, otras al sur, otras al este o al oeste, quizás mucho más rápidas que el mismo tren. En estas condiciones ya no podrías decir dónde te encontrabas en un momento dado. En realidad la noción completa de que se está siempre en un lugar «concreto», se debe a la feliz inmovilidad de la mayoría de los objetos sólidos que cubren la superficie de la tierra. La idea de «lugar» es sólo una aproximación práctica y burda: lógicamente, no existe ese lugar necesario, ni tampoco puede precisarse.

Si no fuéramos más anchos que un electrón, no tendríamos esta impresión de estabilidad, debida únicamente a la rudeza de nuestros sentidos. King's Cross, que nos parece sólido, sería demasiado vasto para que lo pudiéramos concebir. Sólo lo podrían hacer algunos matemáticos excéntricos. Los trozos que podríamos ver de este mundo consistirían en leves puntos de materia, sin llegar nunca a estar en contacto entre sí, ya que giran zumbando en un baile-danza inconcebiblemente rápido. El mundo de nuestra experiencia sería tan loco como aquel en que fueron a parar las diferentes partes de Edimburgo en todas direcciones. Si —por tomar el extremo opuesto— fueras tan grande como el sol y vivieras tan lejos como él, con una correspondiente lentitud de percepción, te volverías a encontrar nuevamente con un universo confuso y revuelto; las estrellas y los planetas irían y vendrían como la niebla de la mañana. Nada permanecería en una posición fija en relación a otra cosa. La noción de estabilidad comparada, que forma parte de nuestra visión ordinaria de las cosas, se debe a nuestro tamaño y a que vivimos en un planeta cuya superficie no es muy caliente. De no ser así, nos encontraríamos una física de la prerrelatividad, intelectualmente satisfactoria. Tendríamos que habernos parado en un punto de la física de la relatividad, o permanecer ignorantes de las leyes científicas. Por fortuna para nosotros, no estamos abocados a esta alternativa, ya que es casi inconcebible que un solo hombre pueda hacer la obra de Euclides, Galileo, Newton y Einstein. No obstante, sin un genio increíble, apenas se habría podido descubrir la física en un mundo en que el flujo universal era obvio a la observación no-científica.

Aunque en astronomía, el sol, la luna y las estrellas siguen existiendo año tras año, no obstante, en otros aspectos, el mundo que debemos tratar es muy distinto al de la vida diaria. Como ya hemos observado, dependemos exclusivamente de la vista: no podemos tocar, oír, oler o gustar los cuerpos celestes. Todo se mueve en los cielos en relación a todo lo demás. La tierra gira alrededor del sol, el sol se mueve mucho más rápido que un tren expreso hacia un punto de la constelación Hércules, las estrellas fijas danzan de acá para allá como bandada de gallinas asustadas. En el cielo no hay lugares perfectamente delimitados, como King's Cross y Edimburgo. Cuando viajamos de un lugar a otro de la tierra, decimos que el tren se mueve y que las estaciones están quietas, porque las estaciones conservan sus relaciones topográficas entre sí y el paisaje que las rodea. Pero, en astronomía,

es arbitrario eso que llamamos tren y estación: la cuestión se ha de decidir simplemente por conveniencia o por convencionalismo.

A este respecto es interesante el contraste entre Einstein y Copérnico. Antes de Copérnico, la gente creía que la tierra estaba quieta y que los cielos giraban en torno a ella una vez al día. Copérnico enseñó que es «realmente» la tierra la que gira una vez al día, y que la rotación diaria del sol y de las estrellas es solamente «aparente». Galileo y Newton apoyaron esta idea e inventaron muchas cosas para probarla: por ejemplo, el achatamiento de la tierra en los polos y el hecho de que los cuerpos son más pesados allí que en el ecuador. Pero en la teoría moderna la cuestión entre Copérnico y sus predecesores es simplemente una cuestión convencional: todo movimiento es relativo y no hay diferencia entre las dos afirmaciones: «la tierra gira una vez al día» y «el cielo se mueve alrededor de la tierra diariamente». Las dos significan exactamente la misma cosa, como significa lo mismo si digo que cierta longitud es de seis pies o de dos yardas. La astronomía es más fácil si consideramos que el sol está fijo que si consideramos fija a la tierra, de la misma manera que son más fáciles las cuentas en el sistema monetario internacional. Pero decir más sería para Copérnico suponer el movimiento absoluto, lo cual es una ficción. Todo movimiento es relativo. Y es simplemente convencional considerar un cuerpo en reposo. Todos estos convencionalismos son igualmente legítimos, si bien no todos son igualmente convenientes.

Hay otro problema de gran importancia en el que la astronomía difiere de la física terrestre por su exclusiva dependencia de la luz. Tanto el pensamiento popular como la antigua física empleaban una noción de «fuerza» que parecía inteligible por su asociación con las sensaciones ya conocidas. Cuando caminamos, tenemos sensaciones que van unidas a nuestros músculos y que no experimentamos cuando estamos parados. Antes de la tracción mecánica, cuando la gente viajaba en sus carruajes, podía ver el ejercicio de los caballos y cómo realizaban una «fuerza» en el mismo sentido en que lo hacen los seres humanos. Todos sabían por experiencia lo que es empujar o tirar, ser empujado o ser arrastrado. Estos hechos conocidos, compuestos de «fuerza», parecen una base natural para la dinámica. Pero la ley de la gravitación de Newton introdujo una dificultad. La fuerza entre dos bolas de billar aparecía inteligible porque sabemos lo que es chocar con otra per-

sona. Pero la fuerza entre el cielo y la tierra, separados por 150 millones de kilómetros, era misteriosa. El mismo Newton consideraba esta «acción a distancia» como imposible y creía que existía un mecanismo todavía no descubierto hasta entonces por el que se transmitía la influencia del sol a los planetas. Sin embargo, no se descubrió tal mecanismo y la gravitación seguirá siendo un enigma. La realidad es que toda la idea de «fuerza» es un error. El sol no ejerce ninguna fuerza sobre los planetas. En la ley de la gravitación de Einstein, el planeta sólo está atento a lo que encuentra en su propia proximidad. La forma en que ésta opera se explicará en un capítulo posterior. De momento, sólo nos interesa la necesidad de abandonar la noción de «fuerza», debido a conceptos erróneos derivados del sentido del tacto.

A medida que avanza la física se ve con mayor claridad que la vista, como fuente de nociones fundamentales sobre la materia, es menos engañosa que el tacto. La aparente simplicidad de la colisión de las bolas de billar es totalmente ilusoria. En realidad, las dos bolas de billar nunca llegan a tocarse del todo. Lo que sucede es inconcebiblemente complicado, pero es más parecido de lo que supone el sentido común a lo que sucede cuando un cometa penetra en el sistema solar y vuelve a salir.

La mayor parte de lo dicho hasta aquí ya fue reconocido por los físicos antes de que Einstein inventara la teoría de la relatividad. Se reconocía que la «fuerza» era una ficción matemática y generalmente se sostenía que el movimiento era simplemente un fenómeno relativo; es decir, cuando dos cuerpos cambian su posición relativa, no podemos decir que uno se mueve y que otro está en reposo, ya que el suceso es un simple cambio en su relación mutua. Pero fue necesario un gran trabajo para armonizar el procedimiento real de la física con estas nuevas convicciones. Newton creía en la fuerza y en el espacio y tiempo absolutos. Incorporó estas creencias a sus métodos técnicos y sus métodos fueron idénticos a los de los físicos posteriores. Einstein inventó una nueva técnica, libre de los supuestos de Newton. Pero para llegar a ello tuvo que cambiar definitivamente las viejas ideas de espacio y tiempo, que habían permanecido inmutables desde tiempo inmemorial. En ello reside tanto la dificultad como el interés de su teoría. Pero antes de explicarla son indispensables algunos preliminares. De ellos nos ocuparemos en los dos capítulos siguientes.

2. Lo que sucede y lo que se observa

Cierto tipo de hombre superior se siente orgulloso de afirmar que «todo es relativo». Esto, naturalmente, es absurdo, ya que si *todo* fuera relativo, no habría nada relativo a ese todo. No obstante, sin caer en absurdos metafísicos, es posible sostener que todo en el mundo físico es relativo a un observador. Esta idea, verdadera o no, no ha sido adoptada por la «teoría de la relatividad». Quizás el nombre no sea lo más afortunado. Pero lo cierto es que ha llevado a confusión tanto a filósofos como a personas poco instruidas. Creen que la nueva teoría prueba que *todo* en el mundo físico es relativo, cuando la verdad es todo lo contrario. Intenta excluir lo relativo y llegar a una formulación de las leyes físicas que no dependan en ningún sentido de las circunstancias del observador. Es cierto que estas circunstancias, según se ha comprobado, tienen mayor efecto de lo que parece y de lo que anteriormente se creía sobre el observador. Pero, al mismo tiempo, Einstein demostró la manera de anular totalmente este efecto. Aquí está el origen de casi todo lo que hay de sorprendente en su teoría.

Cuando dos observadores perciben lo que ambos consideran como un suceso, entre sus percepciones hay ciertas semejanzas y también ciertas diferencias. Las diferencias quedan oscurecidas por las exigencias de la vida diaria, ya que desde un punto de vista del problema, como norma general, carecen de importancia. Pero tanto la psicología como la física, desde sus ángulos respectivos, se ven obligadas a resaltar en qué aspectos la percepción que un hombre tiene de determinado acontecimiento difiere de la de otro. Algunas de estas diferencias se deben a la diversidad de talento o de talante de los propios observadores. Otras veces, a las diferencias de sus órganos sensoriales. Y otras, finalmente, a las diferencias de su situación física. Estas tres clases de diferencias las podemos llamar respectivamente, psicológicas, fisiológicas y físicas.

Una observación hecha en una lengua que conocemos, se captará bien. Por el contrario, otra observación hecha en voz alta, pero en una lengua desconocida, puede pasar totalmente inadvertida. De dos hombres en los Alpes, uno percibirá la belleza del paisaje, mientras que el otro se fijará en las cascadas, de las cuales se podría obtener energía. Estas diferencias son psicológicas. Las diferencias entre un hombre que tiene una vista de largo

alcance y la de un miope, o entre un sordo y uno que oye bien, son fisiológicas. Ninguna de estas diferencias nos interesa. Las he mencionado solamente para poderlas excluir. El tipo de diferencias que nos interesa es el puramente físico. Las diferencias físicas entre dos observadores seguirán existiendo si dichos observadores son reemplazados por la cámara o el magnetófono y pueden reproducirse en un film o en un gramófono. Si los dos hombres oyen hablar a un tercero y uno de ellos está más cerca del que habla, oirá los sonidos más altos y un poco antes de que pueda oírlos el otro. Si dos hombres ven caer un árbol, lo ven desde ángulos diferentes. Tales diferencias podrían hacerse igualmente patentes mediante instrumentos de grabación: no se deben a la idiosincrasia de los observadores, sino que forman parte del curso ordinario de la naturaleza física, tal como nosotros la experimentamos.

El físico, lo mismo que el hombre común, cree que sus percepciones le dan un conocimiento de lo que sucede en el mundo físico, y no sólo en sus experiencias privadas. Profesionalmente, considera al mundo físico como «real», no simplemente como algo que los seres humanos sueñan. Un eclipse de sol, por ejemplo, puede ser observado por cualquier persona que esté en una posición conveniente. Y al mismo tiempo es observado por las cámaras fotográficas colocadas al efecto. El físico está persuadido de que algo ha sucedido realmente además y por encima de la experiencia de cuantos han observado el sol o sus fotografías. He puesto de relieve este punto que pudiera parecer una nimiedad, ya que algunos suponen que Einstein estableció alguna diferencia a este respecto. En realidad no fue así.

Pero si el físico queda justificado en esta creencia de que una serie de personas pueden observar el «mismo» hecho físico, también, por el mismo hecho, está ligado a los mismos aspectos que el suceso presenta a todos los observadores. Los demás no pueden considerarse, lógicamente, como integrantes del hecho mismo. Por lo menos, el físico ha de limitarse a aquellos aspectos comunes a todos los observadores considerados «como igualmente buenos». Se prefiere al observador que usa un microscopio o un telescopio a quien no los usa, ya que ve lo mismo que este último y más todavía. Una cámara fotográfica sensible puede «ver» todavía más, y por lo mismo, se la prefiere a cualquier ojo. Pero cosas como las diferencias de perspectiva o de tamaño aparente, debidas a la diferencia de distancia, no son atribuibles al objeto. Pertenecen solamente al punto de vista del espectador. El sentido

común las elimina al juzgar los objetos. La física tiene que llevar el mismo proceso mucho más lejos, pero el principio es el mismo.

Quiero dejar bien claro que no estoy dispuesto a que pueda atribuírseme el calificativo de imprecisión. Mi interés se ciñe a las diferencias físicas auténticas entre hechos, cada una de las cuales es una marca perfecta de cierto acontecimiento, desde el punto de vista del mismo. Cuando un hombre dispara un fusil, las personas que no están muy próximas a él ven el fogonazo antes de oír la detonación. Ello no se debe a ningún defecto de los sentidos sino a que el sonido avanza más despacio que la luz. La velocidad de la luz es tan rápida que, desde el punto de vista de los fenómenos de la superficie de la tierra, se puede considerar como instantánea. Todo lo que podemos ver en la tierra sucede prácticamente en el momento en que lo vemos. En un segundo la luz recorre 300.000 kilómetros. Tarda desde el sol a la tierra unos ocho minutos. Y desde las estrellas, algo así como desde cuatro años a varios miles de millones.

Pero, naturalmente, no podemos poner un reloj en el sol, y enviar desde él un rayo de luz a las doce en punto, según el meridiano de Greenwich, para recibirlo en Greenwich a las 12:08. Nuestros métodos de estimación de la velocidad de la luz han de ser más o menos indirectos. El método más directo es el que aplicamos al sonido cuando nos valemos de un eco. Podríamos enviar un rayo a un espejo y observar lo que tarda su reflejo en llegar de nuevo hasta nosotros. Así obtendríamos el tiempo del recorrido de ida y vuelta al espejo. En la tierra, sin embargo, este tiempo sería inconvenientemente corto. Por eso, en la práctica, los físicos tienen que usar un método más complicado, pero el principio subyacente sigue siendo el del eco.

El mismo principio se usa, para otro propósito, en el radar. Se emiten ondas muy cortas de radio (cuya velocidad es la misma que la de la luz) y se reflejan desde un objeto distante. Entonces, la distancia del objeto puede deducirse por el tiempo que las ondas tardan en ir y volver.

El problema de hacerse cargo del punto de vista del espectador, por decirlo así, es algo de lo cual ha sido plenamente consciente la física de todos los tiempos. En realidad, ha dominado la astronomía desde el tiempo de Copérnico. Esto es cierto. Pero con frecuencia los principios son admitidos mucho antes de deducir todas sus consecuencias. Gran parte de la física

tradicional es incompatible con el principio, a pesar de que éste era admitido teóricamente por todos los físicos.

Había una serie de reglas que incomodaban a quienes se inclinaban por la filosofía, pero que eran aceptadas por los físicos, puesto que en la práctica funcionaban. Locke había distinguido las cualidades secundarias —colores, ruidos, gustos, olores, etc.— como subjetivas. A las cualidades «primarias», por el contrario —formas, posiciones y tamaños—, las consideraba como propiedades genuinas de los objetos físicos. Las reglas del físico podrían deducirse, en consecuencia, de esta doctrina. Se admitía que los colores y los sonidos eran subjetivos, pero debidos a ondas emitidas a una velocidad determinada —de la luz o del sonido, según fuera el caso— desde su origen hasta el ojo o el oído de quien los percibe. Las formas aparentes varían según las leyes de la perspectiva. Pero estas leyes son sencillas y nos permiten inferir con facilidad las formas «reales» partiendo de diversas formas visuales aparentes. Además, tratándose de los cuerpos que nos rodean, podemos captar las formas «reales» por el tacto. El tiempo objetivo de un hecho físico se puede deducir desde el momento en que lo percibimos dándonos cuenta de la velocidad de transmisión de la luz o del sonido o de corrientes nerviosas, según las circunstancias. Tal era el punto de vista adoptado en la práctica por los físicos, a pesar de las dudas que pudieran tener cuando no actuaban profesionalmente.

Esta idea fue bastante válida hasta que los físicos empezaron a interesarse por velocidades mucho mayores que las normales en la superficie de la tierra. Un tren expreso se desplaza a un kilómetro por minuto. Los planetas se desplazan a varios kilómetros por segundo. Cuando los cometas están cerca del sol, avanzan mucho más rápidamente pero a causa de sus formas en continuo cambio, es imposible determinar su posición con toda exactitud. Prácticamente, los planetas eran los cuerpos de mayor velocidad de desplazamiento a los que se podía aplicar adecuadamente la dinámica. Con el descubrimiento de la radioactividad y los rayos cósmicos, y recientemente con la construcción de máquinas aceleradoras de alta energía, han sido posibles nuevos avances en la observación. Pueden observarse las partículas subatómicas individuales moviéndose a velocidades no muy inferiores a las de la luz. El comportamiento de los cuerpos que se mueven a velocidades tan elevadas no es el que podían esperar de las viejas teorías. Porque, en

primer lugar, la masa parece aumentar con la velocidad, de una manera perfectamente definida. Cuando un electrón se mueve a gran velocidad, se requiere una fuerza mayor para conseguir un determinado efecto que cuando se mueve a poca velocidad. Después se encontraron razones para suponer que el tamaño de un cuerpo se ve afectado por su movimiento. Por ejemplo, si se toma un cubo y se mueve a gran velocidad, se hace más pequeño en la dirección de su movimiento desde el punto de vista de una persona que no se mueve con él, si bien desde su propio punto de vista (es decir, para un observador que se moviese como él), se mantiene tal cual era.

Más asombroso todavía fue el descubrimiento de que el lapso de tiempo depende del movimiento. Es decir, dos relojes que marcan exactamente la misma hora, uno de los cuales se mueve muy rápidamente en relación al otro, no continuarán señalando la misma hora si se comparan de nuevo al cabo de un día. Es éste un efecto demasiado pequeño para poderlo experimentar directamente a tanta distancia, pero sería posible hacer una prueba si se consiguiera algún día desarrollar los viajes espaciales. Entonces, podremos hacer viajes lo suficientemente largos para poder apreciar esta «dilatación del tiempo», como se la llama.

Tenemos algunas pruebas directas de la dilatación del tiempo, pero son de distinta naturaleza. Estas pruebas proceden de la observación de los rayos cósmicos, formados por una variedad de partículas atómicas que vienen del espacio exterior y se mueven muy velozmente a través de la atmósfera de la tierra.

Algunas de estas partículas, llamadas mesones, se desintegran durante el vuelo, y es posible observar dicha desintegración. Se descubrió que cuanto más velozmente se mueve el mesón, más tarda en desintegrarse, desde el punto de vista de un científico en la tierra. De este tipo de resultados se sigue que lo que descubrimos por medio de relojes y marcapasos, empleados y considerados como la perfección de la ciencia impersonal, depende en parte de nuestras circunstancias particulares, es decir, del modo en que nos movemos en relación a los cuerpos medidos.

Esto demuestra que debemos trazar una línea diferente de la que ha sido habitual para distinguir entre lo que pertenece al observador y lo que es propio del hecho observado. Si un hombre lleva anteojos azules sabe que el

color azul de todo lo que ve se debe a los anteojos y que no pertenece a lo que está observando. Pero si observa dos relámpagos y anota el intervalo de tiempo entre sus observaciones; si sabe dónde tuvieron lugar los relámpagos y, en ambos casos, puede controlar el tiempo que la luz tardó en llegar a él, en tal caso, si su cronómetro es exacto, piensa naturalmente que ha descubierto el intervalo real de tiempo entre los dos relámpagos, y no algo meramente personal. Le confirma en esta idea el hecho de que otros observadores cuidadosos a los que tiene acceso concuerdan con sus apreciaciones. Ello, no obstante, es debido a que todos estos observadores están en la tierra y comparten el movimiento de la misma. Incluso dos observadores que se movieran en aeroplanos y en direcciones opuestas, tendrían a lo sumo una velocidad relativa de 13.000 kilómetros por hora, velocidad insignificante si la comparamos con los 300.000 km por segundo, que es la velocidad de la luz. Si un electrón con una velocidad de 270.000 km por segundo pudiera observar el tiempo que media entre los dos relámpagos, llegaría a una estimación completamente diferente, después de constatar la velocidad de la luz. ¿Cómo sabe usted esto?, puede preguntar el lector. Usted no es un electrón, no puede moverse a esas velocidades de vértigo. Ningún hombre de ciencia ha podido hacer las observaciones que probarían la verdad de su afirmación. No obstante, como veremos enseguida, hay buena base para hacer tal afirmación. Fundamentada, sobre todo, en la experiencia y —lo que es digno de notarse— en los razonamientos que se pudieran haber hecho en cualquier tiempo, pero que no se hicieron hasta que los experimentos demostraron que los antiguos razonamientos debían estar equivocados.

Hay un principio general que invoca la teoría de la relatividad y que resulta más sólido de lo que podría suponerse. Si sabes que un hombre es dos veces más rico que otro, este hecho tiene que aparecer igual tanto si consideras la riqueza de ambos en dólares, libras, francos, o en cualquier otra moneda. Los números que representan sus fortunas cambiarán, pero uno de ellos será siempre el doble que el otro. Si todo movimiento es relativo, puedes tomar el cuerpo que quieras como cuerpo de referencia y valorar los demás movimientos en relación al de aquél. Si estás en un tren y te diriges hacia el vagón restaurante, de momento piensas que el tren está fijo y valoras tu movimiento en relación a él. Pero cuando piensas en el viaje que estás haciendo juzgas a la tierra como fija y afirmas que te estás moviendo a una media de

noventa kilómetros por hora. Un astrónomo interesado en el sistema solar considera al sol como fijo y piensa que tú realizas los movimientos de rotación y traslación alrededor del sol. Si comparas dicho movimiento con el del tren, éste es tan lento que apenas cuenta. Un astrónomo interesado en el universo estelar puede añadir a este movimiento el del sol en relación con el movimiento medio de las estrellas. No se puede afirmar que una de estas formas de estimar tu movimiento sea más correcta que la otra. Cada una es perfectamente correcta desde el momento en que se le asigna un cuerpo de referencia. Ahora bien, así como se puede apreciar la fortuna de un hombre en diferentes valores monetarios sin alterar su relación con la fortuna de otros hombres, de la misma manera se puede valorar el movimiento de un cuerpo por medio de diferentes cuerpos de referencia sin alterar su relación con otros movimientos. Y si la física es un conjunto de relaciones, ha de ser posible expresar sus leyes refiriendo todos los movimientos a cualquier cuerpo como principio de referencia.

Podemos exponer el problema de otro modo. La física intenta informar sobre lo que ocurre en el mundo físico, y no sólo sobre las percepciones privadas de cada uno de los observadores. La física, pues, ha de interesarse por aquellos aspectos que un proceso físico presenta a todos los observadores. Tales aspectos sólo pueden considerarse como pertenecientes al mismo hecho físico. Ello exige que las *leyes* de los fenómenos hayan de ser las mismas, tanto si se describen tal como aparecen ante un observador o como ante otro. Este único principio es el motivo generador de toda la teoría de la relatividad.

Ahora bien, lo que hasta aquí hemos considerado como propiedades espaciales y temporales de los hechos físicos resultan ser en gran parte dependientes del observador. Sólo una pequeña parte puede atribuirse a los hechos mismos. Y ésta únicamente puede introducirse en la formulación de cualquier ley física que haya de tener a priori una oportunidad de ser cierta. Einstein encontró a mano un instrumento de la matemática pura, llamado la teoría de los tensores. Ésta le permitió descubrir leyes expresadas en función del resto objetivo y que aproximadamente estaban de acuerdo con las antiguas leyes. Donde las leyes de Einstein se apartan de las antiguas, se ha comprobado que hasta la fecha son más acordes con la observación.

Si en el mundo físico no hubiera realidad sino una serie de sueños imagi-

dados por diferentes personas, no esperaríamos poder encontrar ninguna ley que uniera los sueños de un hombre con los de otro. Es la conexión íntima entre las percepciones de un hombre y (de modo general) las percepciones simultáneas de otro, lo que nos lleva a creer en un origen externo común a las diferentes percepciones a que nos estamos refiriendo. La física explica tanto las semejanzas como las diferencias entre las percepciones de las distintas personas de lo que llamamos el «mismo» hecho. Pero para llegar a ello, es necesario primero que el físico encuentre cuáles son estas semejanzas. No son precisamente las que tradicionalmente se suponía, pues ni el espacio ni el tiempo por separado se pueden tomar como estrictamente objetivos. Lo objetivo es una especie de mezcla de los dos llamada «espacio-tiempo». Explicar esto no es fácil, pero debemos intentarlo. Lo haremos en el capítulo siguiente.