

El tiempo: ¿es una ilusión?

Achim M. Loske

“Sucedió lo que debí haber evitado: la escalera comenzó a deslizarse cuando todavía no alcanzaba un punto desde el cual pudiera sujetarme con firmeza. Como en cámara lenta, percibí cada detalle de la caída. Salvo algunos moretones, tuve la fortuna de salir ileso.”

¿A qué se debe que, bajo ciertas circunstancias, el tiempo parezca dilatarse? ¿Tiene que ver con nuestra imaginación? Aquí surge la duda: ¿qué es el tiempo? Una definición ingeniosa se atribuye al escritor de ciencia ficción Ray Cummings (1887–1957), aunque quien la hizo popular fue el físico John Archibald Wheeler (1911–2008): “El tiempo es aquello que impide que todo suceda en el mismo instante”.

Para describir el concepto del tiempo desde el punto de vista científico, conviene distinguir entre el tiempo “humano” y el tiempo “físico”. En este contexto, “humano” se refiere a nuestra percepción del tiempo y a las capacidades físico-biológicas que la hacen posible, no a las humanidades, que estudian el tema desde la filosofía y las ciencias sociales. En este artículo, el tiempo físico abarcará la flecha (dirección) del tiempo, el tiempo en la teoría de la relatividad y el tiempo en la mecánica cuántica.

A continuación, se describen algunas de las teorías científicas más ampliamente aceptadas. Las relacionadas con el tiempo humano aún son objeto de investigación y debate. En cambio, las que describen el tiempo físico han sido confirmadas experimentalmente dentro del ámbito en el que se aplican. Esto puede afirmarse porque predicen con extraordinaria precisión el comportamiento de una enorme variedad de fenómenos. Son modelos que describen aspectos del universo que, con frecuencia, resultan contraintuitivos.

El tiempo en nuestro cerebro

Investigaciones científicas sugieren que la dilatación subjetiva del tiempo mencionada anteriormente ocurre porque, ante ciertas circunstancias, la amígdala, una pequeña región del cerebro relacionada con las emociones y la detección del peligro, activa, en fracciones de segundo, un “modo de emergencia” que intensifica nuestros sentidos. En consecuencia, el cerebro registra la información con mayor rapidez y un mismo intervalo puede percibirse como si fuera mucho más largo. La duración aparente de un acontecimiento depende, en gran medida, de la atención que nuestro cerebro le dedica.

Independientemente de experiencias como la descrita, la mayoría de nosotros sentimos que el tiempo parece transcurrir más rápido conforme envejecemos. Muchos neurólogos explican este fenómeno, porque, durante la juventud experimentamos una mayor cantidad de acontecimientos nuevos. En cambio, los adultos solemos desarrollar rutinas y pasar gran parte del tiempo casi en “piloto automático”. En esas circunstancias, el cerebro registra menos información, dejando una huella más débil en nuestra memoria. Esto no significa que los recuerdos desaparezcan. Una vez más, todo apunta a que el tiempo que percibimos es una

construcción del cerebro. Curiosamente, hoy en día no solo muchos adultos tienen la impresión de que el tiempo pasa cada vez más rápido; también numerosos niños y adolescentes perciben una especie de aceleración del tiempo.

Nuestras limitaciones físico-biológicas

La percepción de la realidad y, con ella, el transcurso del tiempo depende en gran medida de nuestros sentidos y de la manera en que el cerebro procesa la información que recibe. El tiempo que “sentimos” resulta de la anticipación, la atención y la memoria. A su vez, estos estados están condicionados por las limitaciones de nuestros sentidos. Lo mismo sucede con otros seres vivos. Por ejemplo, una mosca registra la información visual mucho más rápido que nosotros. Debido a ello, generalmente logra escapar antes de que el “lento” movimiento del matamoscas llegue a alcanzarla.

Los murciélagos emiten pulsos de ultrasonido (frecuencias que el oído humano no puede percibir) para captar su entorno. Cuando estos pulsos se reflejan en los objetos, parte de su energía regresa a sus oídos en forma de eco. De esa manera pueden localizar insectos e incluso seguir sus movimientos durante el vuelo. Su percepción del tiempo y de la realidad es, sin duda, muy diferente de la nuestra.



**El halcón tiene ojos que distinguen detalles mínimos.
La rapidez con la que su cerebro procesa la información
le permite cazar animales que se desplazan a gran velocidad.**

Aquí viene al caso mencionar un concepto conocido en neurociencia como presente psicológico. Se refiere al breve intervalo durante el cual el cerebro integra la información que recibe de nuestros sentidos y que experimentamos como el “presente”. A diferencia del presente, que en física frecuentemente se representa como un instante o un “punto” en la

línea del tiempo, nuestro presente psicológico dura entre dos y tres segundos. Para crear una sensación de continuidad, el cerebro necesita integrar los estímulos recibidos durante ese intervalo. Esto no significa que nuestra conciencia se reinicie cada pocos segundos, sino que la experiencia del presente se construye a partir de la información recopilada a lo largo de ese lapso.

La dirección del tiempo

La pregunta “¿por qué recordamos el pasado, pero no el futuro?” parece ilógica; sin embargo, muchas ecuaciones fundamentales de la física no impiden que la dirección del tiempo se invierta. Una característica del universo es que tiende a volverse cada vez más desordenado. En física se dice que la entropía, una medida del grado de desorden de las partículas o componentes de un sistema, tiende a aumentar. Un ejemplo sencillo es una gota de tinta que cae en un vaso con agua y se dispersa hasta colorear el líquido uniformemente. En principio, nada impide que cada molécula se mueva de tal manera que la gota recupere su forma original. Sin embargo, la probabilidad de que eso ocurra es tan pequeña que, en la práctica, jamás lo observamos.

Desconocemos por qué la entropía tiende a aumentar, aunque sabemos que, si no fuera así, el universo no existiría como es ahora. Muchas personas pueden atribuir este hecho a una explicación sobrenatural o religiosa; sin embargo, aceptar que las teorías que se describen a continuación son parte de nuestra vida cotidiana, es más inquietante.

El tiempo en la teoría de la relatividad

De acuerdo con nuestra intuición, el tiempo transcurre al mismo ritmo para todos; sin embargo, la teoría de la relatividad mostró que el tiempo y el espacio no son entidades independientes, sino que forman una sola estructura llamada espacio-tiempo. Una consecuencia sorprendente de esta teoría es la dilatación del tiempo, es decir, el hecho de que el tiempo no transcurre al mismo ritmo para todos. En este caso no se trata de cómo percibimos el tiempo, sino de un fenómeno físico real. Aunque su efecto es imperceptible en la vida cotidiana, ha sido confirmado experimentalmente.

Por ejemplo, un reloj que se desplaza a gran velocidad marcha más lentamente que otro que permanece en reposo. Esto fue demostrado en 1971 por los físicos Joseph Hafele y Richard Keating. Colocaron cuatro relojes atómicos a bordo de aviones comerciales y los hicieron dar la vuelta al mundo. Al compararlos con relojes atómicos que permanecieron en el Observatorio Naval de Estados Unidos, encontraron diferencias de entre algunas decenas y unos cientos de nanosegundos, exactamente como predecía la teoría de la relatividad.



Joseph Hafele y Richard Keating con sus relojes atómicos a bordo de un avión comercial en 1971.

Por si fuera poco, la teoría de la relatividad general predice que también la gravedad modifica el paso del tiempo. La presencia de masa y energía curva el espacio-tiempo, y esa curvatura es lo que percibimos como gravedad. Cerca de un objeto muy masivo el tiempo transcurre más despacio que en regiones donde la gravedad es más débil. Una de las primeras verificaciones experimentales de esta predicción fue realizada en 1959 por Robert Pound y Glen Rebka, en la Universidad de Harvard. En una torre de aproximadamente 23 metros de altura midieron el pequeñísimo cambio de frecuencia que experimentan los rayos gamma al desplazarse en el campo gravitatorio terrestre. Este fenómeno, conocido como corrimiento gravitacional al rojo, es una consecuencia directa de que el tiempo transcurre a diferente ritmo según la intensidad de la gravedad. Los resultados coincidieron con gran precisión con las predicciones de la relatividad general y constituyeron una de las primeras confirmaciones experimentales de este efecto. Toda forma de energía contribuye a curvar el espacio-tiempo. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones cotidianas el efecto de la energía distinta de la asociada a la masa es tan pequeño que resulta prácticamente despreciable.



Representación de la curvatura del espacio-tiempo producida por la presencia de un objeto masivo.

Hoy en día este efecto forma parte de nuestra vida cotidiana. Los satélites del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que orbitan a unos 20 000 km de altura, llevan relojes atómicos extremadamente precisos. Debido a que a esa distancia de la Tierra la gravedad es menor, esos relojes avanzan aproximadamente 45 microsegundos por día más rápido que los situados sobre la superficie terrestre. Al mismo tiempo, su velocidad orbital hace que, por la dilatación del tiempo, anteriormente mencionada, se retrasen unos 7 microsegundos por día.

El resultado neto es un adelanto de aproximadamente 38 microsegundos diarios. Sin esta corrección, los errores de localización aumentarían varios kilómetros cada día.



Robert Pound en la parte superior de la torre del Jefferson Physical Laboratory de Harvard en 1959. Durante las calibraciones se comunicaba por teléfono con Glen Rebka, quien estaba en la parte inferior.

La teoría de la relatividad reveló que el tiempo no es absoluto ni uniforme, sino una parte dinámica del Universo cuyo transcurso depende tanto del movimiento como de la gravedad.

El tiempo en la mecánica cuántica

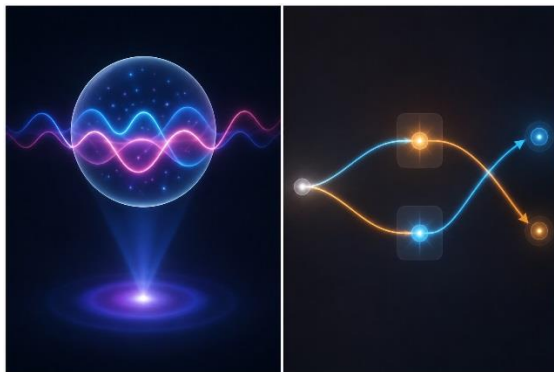
La teoría de la relatividad transformó nuestra manera de entender el tiempo; sin embargo, cuando se estudia el mundo de los átomos y las partículas elementales aparecen fenómenos muy diferentes.

Uno de los principios fundamentales de la mecánica cuántica es la “superposición de estados”. Esto significa que, antes de realizar una medición, un sistema cuántico puede describirse como una combinación de varias posibilidades y no como si tuviera una única propiedad bien definida. Aunque esta idea resulta muy extraña, constituye la base de muchas tecnologías modernas.

En los últimos años, diversos trabajos teóricos han mostrado que dos acontecimientos pueden no tener un orden temporal fijo. En otras palabras, es posible describir una situación en la que no puede afirmarse cuál de los dos ocurre primero. Aunque este fenómeno no forma parte de nuestra experiencia cotidiana, ya ha sido demostrado experimentalmente.

En la física clásica suponemos que los acontecimientos ocurren en un orden definido y que un reloj registra ese orden. En cambio, según la mecánica cuántica el acto mismo de medir desempeña un papel fundamental. Uno de los principios básicos de esta teoría es la superposición de estados.

Un electrón, por ejemplo, puede describirse como si ocupara simultáneamente distintas posiciones o tuviera diferentes valores de energía. Solo cuando se realiza una medición el sistema “se decide” y adquiere una propiedad definida. La teoría predice con gran precisión la probabilidad de cada resultado, pero no explica por qué una medición concreta produce precisamente uno de esos resultados.



Representación de la superposición de estados (izquierda) y la posibilidad de que dos acontecimientos no tengan un orden temporal definido (derecha).

La situación resulta todavía más intrigante porque, a diferencia de la posición, la velocidad o la energía, el tiempo no aparece en la formulación habitual de la mecánica cuántica como una magnitud que pueda medirse, sino como un parámetro externo que indica cómo evoluciona un sistema. Las demás magnitudes, en cambio, son las que presentan incertidumbre y pueden encontrarse en superposición.

Algunos investigadores han propuesto una idea radical: de la misma manera que la temperatura emerge del movimiento colectivo de un enorme número de moléculas, el tiempo podría ser una propiedad emergente derivada de relaciones cuánticas. En esta visión, el tiempo que experimentamos sería una consecuencia de la forma en que la información cuántica se organiza y evoluciona, y no una entidad básica de la naturaleza. Aunque estas ideas todavía están en desarrollo, representan una de las líneas de investigación más prometedoras para comprender la naturaleza del tiempo.

Nuestra intuición cotidiana, forjada en un mundo de objetos macroscópicos y velocidades pequeñas, resulta insuficiente para describir el mundo cuántico. Así como la relatividad nos obligó a abandonar la idea de un tiempo absoluto, la mecánica cuántica podría llevarnos a una conclusión aún más sorprendente: que el tiempo, tal como lo percibimos, no sea un componente fundamental de la realidad, sino una propiedad que emerge de leyes físicas más profundas.

Un gran desafío de la física es unificar la mecánica cuántica con la relatividad. Mientras esta última describe un espacio-tiempo dinámico que puede curvarse, la mecánica cuántica supone la existencia de un tiempo externo sobre el cual transcurren los procesos. Esto no

significa que una de ellas sea errónea, Ambas describen con extraordinaria precisión fenómenos que ocurren en dominios diferentes.

Conclusiones

Nuestra intuición nos hace pensar que el tiempo fluye de manera uniforme y que existe un "ahora" compartido por todo el Universo. Sin embargo, la física moderna muestra un panorama muy diferente. El tiempo no es un escenario independiente donde ocurren los acontecimientos, sino parte de la descripción del Universo. Sin cambios no existirían relojes capaces de medir su transcurso. Además, el ritmo con que transcurre depende de la velocidad y de la gravedad, por lo que no existe un tiempo universal válido para todos

Mientras que la física clásica describe con extraordinaria precisión el mundo de nuestra experiencia cotidiana, la relatividad y la mecánica cuántica revelan que, cuando exploramos velocidades extremas, campos gravitacionales intensos o el mundo de los átomos, nuestra intuición deja de ser una guía confiable. Quizá la conclusión más importante sea que el tiempo es mucho más extraño y fascinante de lo que nuestra experiencia cotidiana nos hace creer.