

GUÍA PARA PERDERSE EN EL TIEMPO

De izquierda a derecha y —por provocar— en sentido cronológico, un paseo por las grandes ideas, conceptos y pensadores de la cuestión temporal de la mano del físico Alberto Casas, auténtico experto en la materia.

TEMPUS MENTIS

Newton

Concibió el tiempo absoluto como una magnitud real, matemática y objetiva. El tiempo avanza al mismo ritmo en todo el universo, existiendo por sí mismo.



Maxwell

Formuló las leyes del electromagnetismo, que proporcionaron la pista crucial a Einstein para postular la constancia de la velocidad de la luz, y a partir de ahí la teoría de la relatividad.



Einstein

Demostró que el tiempo es relativo: depende de la velocidad a la que te mueves y de la gravedad del lugar desde el que observas. Este hecho ha sido comprobado experimentalmente.



Clausius

Introdujo el concepto de entropía (algo parecido al desorden de un sistema físico) y formuló la segunda ley de la termodinámica: la entropía tiende siempre a aumentar con el tiempo.



Boltzmann

Pionero de la mecánica estadística, dio un significado físico a la entropía y propuso que la flecha del tiempo que percibimos surge de la segunda ley de la termodinámica: la tendencia estadística del universo a evolucionar hacia estados más probables, de mayor entropía.



Schrödinger

Formuló la ecuación que describe la evolución temporal de los sistemas físicos. Esta se complementa con el postulado del colapso: al observar un sistema, este pasa de una superposición de estados a un estado definido.



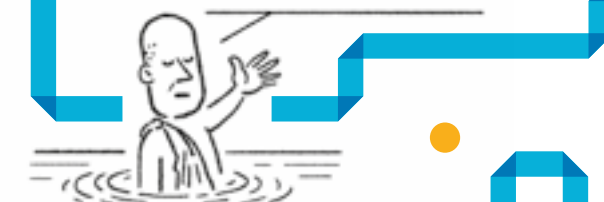
Hugh Everett

Propuso la hipótesis de los muchos mundos: el tiempo no como una línea única, sino como un árbol que se ramifica constantemente. Cada vez que ocurre una observación, el universo (o nuestra percepción de él) se divide en múltiples copias donde se realizan todas las posibilidades.

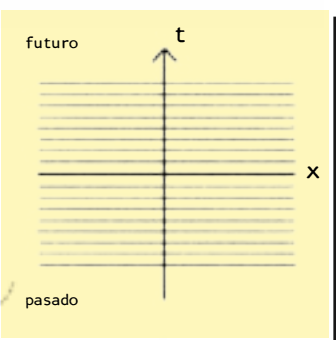


Presentismo

COMO DECÍA HERÁCLITO, NADIE ENTRA DOS VECES EN EL MISMO RÍO, YA QUE NI LA PERSONA NI EL AGUA SERÁN LAS MISMAS

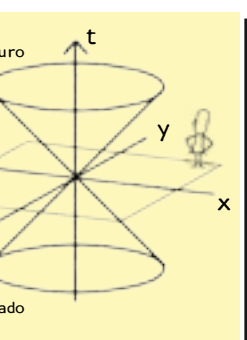
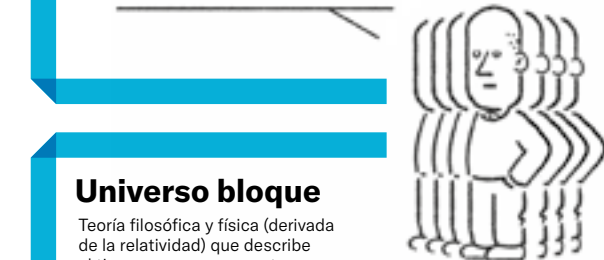


Newton



Eternalismo

TODOS LOS PUNTOS DEL ESPACIO-TIEMPO EXISTEN COMO UN TODO, EN PIE DE IGUALDAD



Einstein

El cono de luz relativista

Representación 4D del espacio-tiempo. El eje vertical representa el paso del tiempo. Los eventos dentro del cono pasado son causas, y los del cono futuro son efectos. Ningún objeto puede salir de este cono, lo que significa que el tiempo "avanza" y no puede retroceder.

ETERNALISMO EN FILOSOFÍA Y UNIVERSO BLOQUE.

En física son similares: el universo bloque propone el espacio-tiempo como un todo, donde pasado, presente y futuro coexisten.

PRESENTISMO. Solo el presente existe (negando la existencia de pasado y futuro). Está cuestionado en física: según la relatividad especial de Einstein, no existe un "ahora" universal único para todos los observadores.

No existe un "ahora" universal

RELATIVIVIDAD

El tiempo es relativo al observador

Pasado, presente y futuro coexisten en el espacio-tiempo

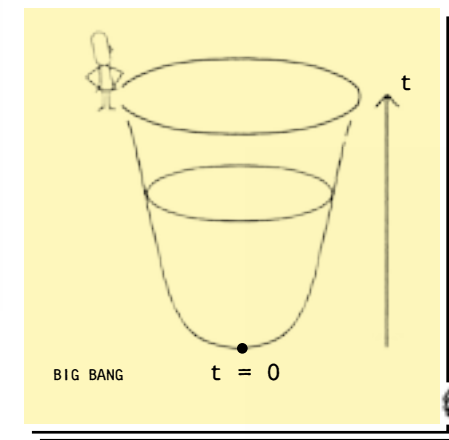
EN GENERAL, SALVO EN ALGUNAS OCASIONES

La gravedad afecta al tiempo. Pasa más lento en tus pies que en tu cabeza

El tiempo pudo haber empezado con el Big Bang

RELATIVIDAD DE EINSTEIN. El tiempo depende de la velocidad del observador y del campo gravitatorio al que está sometido.

BIG BANG significa el origen simultáneo del espacio y el tiempo.



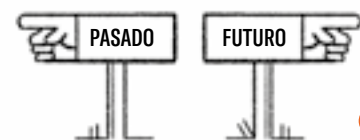
Viajar al futuro es posible

Según la teoría de la relatividad de Einstein, viajar al futuro lejano es físicamente posible para quien se mueva a velocidades cercanas a la luz o se encuentra cerca de un campo gravitatorio intenso (como un agujero negro).

A VER, POR FAVOR, ¡UN POQUITO DE ORDEN! OBJETIVAMENTE... TENEMOS TIEMPO

Cuanto más rápido te mueves, más lento pasa el tiempo

¡¡¡QUIÉN LO DIRÍA!!! CON LO SENCILLO QUE PARECE ASÍ VISTO



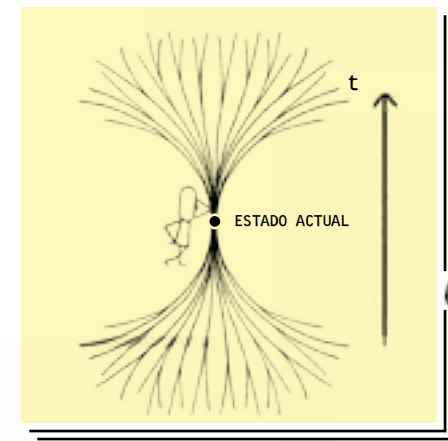
ENTROPIA

FLECHA TERMODINÁMICA

Segunda ley de la termodinámica

La sensación de que el pasado ya ocurrió y es inamovible, mientras que el futuro aún no ha ocurrido y está abierto, puede ser una ilusión debida a que poseemos mucha más información sobre los eventos pasados que sobre los futuros, un fenómeno que se explica por la mayor entropía (desorden) de estos últimos.

¿A QUÉ SE DEBE QUE ESTOS PROCESOS OCURRAN SIEMPRE EN UNA DIRECCIÓN, Y NUNCA EN LA CONTRARIA?



El **LIBRE ALBEDRIO** es probablemente una ilusión creada por nuestro cerebro, la sensación de que controlamos nuestros actos.

No hay nada en las ecuaciones de la física que nos diga que el tiempo fluya hacia el futuro (ni hacia el pasado).

Por razones estadísticas, solo se forman registros y memorias de los eventos con menor entropía, es decir, de lo que llamamos pasado.

Decoherencia

El matiz importante es que una observación implica una interacción con un sistema macroscópico (nosotros). En este punto, la segunda ley de la termodinámica entra en acción, permitiéndonos crear registros solo de los eventos pasados (de menor entropía). Por ello, la anterior "flecha del tiempo cuántica" es probablemente una manifestación más de la flecha termodinámica: la entropía tiende a aumentar.

Aún no conocemos la naturaleza del tiempo en toda su profundidad. Y no lo haremos hasta que se concilien la teoría de la relatividad general y la mecánica cuántica, los dos pilares de la física moderna.

VIAJAR EN TREN MIRANDO HACIA ATRÁS POR LA VENTANILLA EQUIVALE A MIRAR EL PASADO



TOMA CHUT CAUSAL



Causas y efectos

SELFIE ASIMÉTRICO... ¡PA-TA-TA!



Memoria

Registros pasados

Procesos biológicos

Procesos irreversibles

FLECHAS DEL TIEMPO

En física, todos los procesos son, en realidad, reversibles.

MOMENTOS JUSTOS

RELOJ

Alarma: función del reloj que emite una señal sonora a una hora determinada.

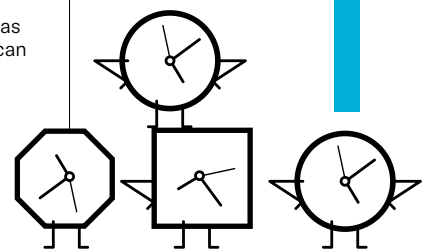
Horario: distribución de las horas en que se realiza una actividad.

Manecillas: agujas del reloj que indican horas, minutos y segundos.

Minutero: manecilla que indica los minutos.

Reloj: instrumento que sirve para medir y mostrar el paso del tiempo.

Segundero: manecilla que señala los segundos.



EXPERIENCIAS

A destiempo: cuando algo pasa tarde, mal o fuera de lugar.

A mal tiempo, buena cara: refrán que aconseja mantener una actitud positiva frente a las dificultades o problemas.

El tiempo es oro: expresión que resalta el gran valor del tiempo y la importancia de no desperdiciarlo.

Perder el tiempo: emplear el tiempo en actividades inútiles o sin provecho.

Tiempo al tiempo: expresión que invita a la paciencia. Indica que las cosas se resolverán cuando llegue el momento adecuado, y que no conviene apresurar los acontecimientos.

Viaje en el tiempo: concepto hipotético de trasladar un objeto o persona entre diferentes puntos del tiempo (pasado o futuro). Dormirse "cinco minutos" y despertar dos horas después.



FÓRMULAS

$$t' = t \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Fórmula relativista que relaciona el tiempo t transcurrido para un observador en reposo con el tiempo t' transcurrido para un observador con velocidad v . t' siempre es menor que t .

$$R^{\mu\nu} - \frac{1}{2} g^{\mu\nu} R = T^{\mu\nu}$$

La ecuación principal de la **teoría de la relatividad general**. R y g son la curvatura y la métrica del espacio-tiempo: su geometría. T es el tensor energía-momento: la materia y energía del universo. Esta fórmula describe por qué el tiempo se ralentiza en presencia de campos gravitatorios.

$$S = k_B \log W$$

Fórmula de Boltzman para la entropía (S). W es el número de estados microscópicos con el mismo aspecto macroscópico. Por pura estadística, W tiende a crecer, y por tanto la entropía, S . Esa es la segunda ley de la termodinámica:

$$\Delta S \geq 0$$

$$i\hbar \frac{d\psi}{dt} = H\psi$$

La **ecuación de Schrödinger** describe cómo evoluciona en el tiempo la función de onda ψ de una partícula. H es el Hamiltoniano del sistema, relacionado con la energía de la partícula. Esta evolución es determinista, pero al medir la posición de la partícula, la función de onda colapsa al azar en un punto.



LA ILUSIÓN DEL TIEMPO (Ediciones B, 2025). Original ensayo de divulgación científica en el que el autor explora uno de los misterios más profundos de la ciencia: si el flujo del tiempo es una propiedad fundamental del universo o simplemente una construcción de nuestra mente. Una obra didáctica y absorbente.

CARTELERA TEMPORAL

De *El planeta de los simios* a *Regreso al futuro* pasando por *Interstellar*, el cine ha abordado con entusiasmo el género de los saltos en el tiempo, apoyándose con frecuencia en hipótesis científicas. Esta selección de Alberto Casas muestra que, aunque todas entretenidas, algunas películas lo han hecho con más rigor que otras.



En **EL PLANETA DE LOS SIMIOS** (1968), los tripulantes de una nave viajan a velocidades cercanas a la de la luz y regresan a nuestro planeta tras 18 meses de travesía, pero en la Tierra han transcurrido 2000 años. Esto es perfectamente posible, y ofrece una forma hipotética de viajar a un futuro lejano (aunque aún no existe la tecnología que permita esas velocidades).



En **ENCUENTROS EN LA TERCERA FASE** (1977), una nave extraterrestre aterriza en nuestro planeta y libera a personas abducidas en épocas pasadas, entre ellas varios pilotos desaparecidos en la Segunda Guerra Mundial, para quienes apenas ha transcurrido el tiempo desde su abducción. Esto es posible si la nave ha viajado a velocidades cercanas a la de la luz.



Al final de **SUPERMAN** (1978), este da vueltas a la Tierra a una velocidad superior a la de la luz haciendo que el tiempo se invierta, lo que le permite regresar al pasado y salvar a su novia. Esto no es posible desde el punto de vista de la relatividad, ya que no se puede superar la velocidad de la luz. Tan solo igualarla requeriría una energía infinita para un objeto con masa, algo inalcanzable incluso para Superman.



En **REGRESO AL FUTURO** (1985), Marty McFly viaja en una máquina del tiempo desde su presente hasta 1955, año en que sus padres se conocieron. Pero las acciones de Marty en 1955 ponen en peligro la relación. Esto amenaza su propia existencia, lo que es la "paradoja del abuelo": si Marty no llegara a nacer, no habría podido viajar al pasado para interferir en la relación.



En **ATRAPADO EN EL TIEMPO** (1993), el protagonista regresa cada 24 horas a las seis de la mañana del mismo día, guardando memoria de lo ocurrido en las sucesivas repeticiones y pudiendo actuar de forma distinta en cada ocasión, lo que influye en otros eventos. En cambio, en el universo de Gödel todo regresa al mismo estado inicial y los acontecimientos se repiten de manera idéntica.



Posiblemente el recurso más empleado en películas de ciencia ficción para realizar viajes espaciales y temporales son los agujeros de gusano. En películas como **CONTACT** (1997) estos agujeros son presentados como portales que permiten a los personajes viajar a estrellas o galaxias lejanas en cuestión de segundos, evitando las limitaciones de la velocidad de la luz.



Salvo en ficciones cinematográficas —como **EL CURIOSO CASO DE BENJAMIN BUTTON** (2008)—, los procesos biológicos suceden en una sola dirección: una persona envejece, un árbol crece, una fruta madura, una flor se marchita. Estos son algunos ejemplos, entre millones, de este tipo de procesos en los que no hay vuelta atrás. Es por esto que conllevan una "flecha del tiempo biológica".



El fenómeno de la dilatación temporal cerca de un agujero negro fue aprovechado correctamente en **INTERSTELLAR** (2014): los protagonistas descienden a un planeta que orbita cerca de un agujero negro, por lo que allí el tiempo transcurre mucho más lento. Por cada hora que experimentan sobre la superficie del planeta, pasan siete años en una nave que pasa en una órbita más alejada.

LA ILUSIÓN DEL TIEMPO

DEL TIEMPO

Un relato acrónico ilustrado por **Luis Paadín** según la inspiración y el asesoramiento de **Alberto Casas**.

Nadie se asombraría si el título de este **artefacto desplegable impreso** hiciera mención a la obra de poetas, filósofos, artistas o autores de ciencia ficción, incluso si fueran palabras de gurús del alma. Lo que inquieta es que sea la física contemporánea —ahí donde nuestra civilización sitúa la solidez de la razón— la que pone en cuestión su propia existencia: **el tiempo no existe**. Ni pasado, ni presente, ni futuro; son solo alucinaciones propias de nuestra especie. Y esto no es un *Así habló Zaratustra*, es lo que dicen las matemáticas y **las ecuaciones de los más reputados físicos**. Un debate que comenzó con Newton, continuó con Einstein y hoy se adentra en el universo cuántico, donde emergen ideas como la interpretación de los muchos mundos y otras teorías que **sacuden nuestra intuición más profunda sobre la realidad**. Lo que sigue es un recorrido tan gráfico como empírico por los vericuetos del concepto más enigmático del universo.

GLOSARIO

Año: tiempo que tarda la Tierra en completar una órbita alrededor del Sol.

Año luz: la distancia que recorre la luz en el vacío durante un año terrestre. Equivale a 9,46 billones de kilómetros. (= $9,46 \times 10^{12}$ km).

Atosegundo: es una trillonésima parte de un segundo. Se emplea, por ejemplo, para observar el movimiento de los electrones.

Big Bang: modelo cosmológico que describe el origen del universo a partir de un estado inicial de muy baja entropía.

Campo gravitatorio: región del espacio donde un cuerpo con masa ejerce una fuerza gravitatoria sobre otros cuerpos.

Causa y efecto: relación en la que un suceso (causa) produce otro posterior (efecto), asociada a la flecha del tiempo.

Ciclo: sucesión de eventos que se repiten periódicamente.

Coordenada tiempo: variable matemática que representa el tiempo en las ecuaciones físicas.

Cronología: orden de los hechos según el tiempo.

Dilatación temporal: fenómeno por el cual el tiempo transcurre a distinta velocidad según la velocidad del observador o la intensidad del campo gravitatorio.

Duración: lapso que transcurre entre dos momentos.

Entropía: medida del desorden o del número de maneras microscópicas en que se puede organizar un sistema físico sin que cambie su apariencia macroscópica.

Época: período histórico o etapa determinada.

Era: período muy largo de tiempo, generalmente histórico o geológico, caracterizado por el dominio de un personaje, hecho o proceso cultural.

Espacio-tiempo: concepto introducido por Hermann Minkowski y utilizado por Einstein que unifica el espacio y el tiempo en una sola estructura de cuatro dimensiones.

Estadística: rama de las matemáticas que estudia la probabilidad y la distribución de estados o eventos.

Femtosegundo: equivale a una milmillonésima parte de un segundo y permite, por ejemplo, estudiar reacciones químicas extremadamente rápidas.

Física moderna: rama de la física que incluye teorías como la relatividad y la mecánica cuántica, desarrolladas principalmente en el siglo XX.

Flecha del tiempo: dirección en la que el tiempo parece avanzar, asociada al aumento de la entropía.

Fluctuación aleatoria: variación espontánea y poco probable en un sistema físico.

Fluir del tiempo: sensación psicológica de que el tiempo avanza del pasado al futuro.

Ilusión: percepción que no corresponde exactamente con la realidad física. La física moderna sugiere que el tiempo no existe, que es una ilusión colectiva.

Instante: momento exacto.

Memoria: registro almacenado en el cerebro que se asocia a acontecimientos pasados.

Mecánica cuántica: teoría fundamental que describe el comportamiento de la materia y la energía a escalas microscópicas.

Microsegundo: equivale a una millonésima parte de un segundo y es común en electrónica y telecomunicaciones.

Milisegundo: equivale a una milésima parte de un segundo y se utiliza en informática, física y medicina.

Modo avión: jerga humorística para desconectarse del mundo por un rato.

Nanosegundo: una milmillonésima parte de un segundo; resulta relevante en sistemas informáticos y transmisión de datos.

Picosegundo: equivale a una billonésima parte de un segundo; resulta relevante en óptica y física del láser.

Proceso irreversible: fenómeno que no puede volver espontáneamente a su estado inicial.

Proceso reversible: fenómeno que puede ocurrir tanto hacia adelante como hacia atrás en el tiempo según las leyes físicas.

Registros: huellas físicas de sucesos pasados, como fósiles, cráteres o memorias cerebrales.

Reloj atómico: instrumento de medición del tiempo extremadamente preciso basado en transiciones energéticas de átomos.

Relatividad especial: teoría propuesta por Einstein en 1905, que establece que el tiempo y el espacio dependen del movimiento del observador.

Relatividad general: teoría propuesta por Einstein en 1915, que describe la gravedad como la curvatura del espacio-tiempo causada por la masa y la energía.

Ritmo: velocidad o cadencia con la que ocurre algo.

Segundo: unidad básica del tiempo en el Sistema Internacional, definida a partir de frecuencia de vibración de la luz emitida por los átomos de cesio-133.

Segundo principio de la termodinámica: principio que establece que la entropía de un sistema aislado tiende a aumentar.

Simultaneidad: idea de que dos o más sucesos ocurren al mismo tiempo. Según la teoría de la relatividad, depende del observador.

Tiempo: magnitud física que ordena los sucesos y permite medir la duración entre ellos. En la relatividad, depende del observador.

Tiempo atmosférico: conjunto de condiciones de la atmósfera que se dan en un lugar y momento determinados, como la temperatura, la humedad, el viento, la nubosidad y las precipitaciones.

Tiempo de Planck: la menor unidad de tiempo con significado físico según la teoría cuántica.

Tiempo muerto: período de inactividad o pausa en cualquier proceso.

Tiempo propio: tiempo medido por un observador en reposo extremadamente preciso basado en transiciones energéticas de átomos.

Tiempo récord: el tiempo más rápido registrado en una actividad.

Tiempo universal: concepto clásico de un tiempo único e igual para todo el universo, que la relatividad demuestra que no existe.

Tiempo Universal Coordinado (UTC): estándar horario internacional base, definido por el promedio de relojes atómicos precisos, corrigiéndose ocasionalmente para seguir el ritmo de la rotación terrestre.