



Jordi Mazón

# El juego de la física

**El tablero, las fichas y las reglas  
del Universo**



# El juego de la física

Jordi Mazón

# El juego de la física

**El tablero, las fichas y las reglas  
del Universo**



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

Edicions

Colección  
Catàlisis

# Sumario

<i>Introducción</i> . . . . .	11
<b>CAPÍTULO 1. EL TABLERO Y LAS FICHAS DEL JUEGO: ¿QUÉ ES LA FÍSICA?</b> . . .	15
La física: ciencia de la experimentación y la medición . . . . .	15
El tablero de juego: el ámbito de estudio de la física . . . . .	16
Sistemas de referencia . . . . .	18
Las fichas del juego, o la estructura de la materia (1): el átomo . . . . .	21
Más fichas, o la estructura de la materia (2): cuarks, leptones y bosones . .	22
Características de las fichas, o los estados de la materia . . . . .	26
Características de las fichas: las magnitudes y las unidades . . . . .	28
El metro, el kilogramo, el segundo, el amperio y la candela . . . . .	30
<b>CAPÍTULO 2. LAS REGLAS DEL JUEGO (1): FUERZAS Y PRINCIPIOS</b>	
<b>DE CONSERVACIÓN</b> . . . . .	33
Las fuerzas del Universo . . . . .	34
Los principios de conservación: linternas en la oscuridad . . . . .	36
Principio de conservación de la masa . . . . .	37
Principio de conservación de la carga eléctrica . . . . .	41
Principio de conservación de la energía . . . . .	42
Principio de conservación del momento lineal . . . . .	48
Principio de conservación del momento angular . . . . .	52
Principio de conservación de los números leptónico, bariónico y de la extrañeza . . . . .	56

### CAPÍTULO 3. LAS REGLAS DEL JUEGO (2): PRINCIPIOS, LEYES, TEORÍAS

Y EFECTOS . . . . .	59
Principio de Pascal . . . . .	59
Principio de Arquímedes . . . . .	60
Principio de Bernoulli . . . . .	61
Las leyes de los gases . . . . .	64
Teoría cinética de los gases . . . . .	66
Los tres principios de la termodinámica . . . . .	68
Principio de Fermat . . . . .	69
Ley de la reflexión y ley de Snell o de la refracción: los espejismos existen . . . . .	70
Principio de Huygens-Fresnel . . . . .	74
Principio de incertidumbre de Heisenberg . . . . .	78
Principio de exclusión de Pauli . . . . .	79
Teoría especial de la relatividad . . . . .	80
Principio de equivalencia . . . . .	86
Teoría general de la relatividad . . . . .	87
Principio de equivalencia masa-energía . . . . .	92
Principio cosmológico . . . . .	93
Leyes de Newton . . . . .	94
La segunda ley de Newton para las rotaciones: la ley de la palanca . . . . .	100
Ley de la gravitación universal . . . . .	101
Leyes de Kepler . . . . .	103
Ley de Hooke . . . . .	104
Ley de Coulomb . . . . .	105
Ley de Biot y Savart, los imanes y la fuerza de Lorentz . . . . .	107
Ley de Faraday-Lenz . . . . .	109
Leyes de Maxwell . . . . .	111
Ley de Gauss . . . . .	112
Ley de Ampère . . . . .	114
Ley de desintegración radiactiva . . . . .	114
Ley de Fajans-Soddy. Reacciones nucleares espontáneas . . . . .	116
Ley de Ohm . . . . .	123
Efecto Joule . . . . .	125

Efecto Doppler . . . . .	126
Ley de Hubble . . . . .	127
Teoría del <i>big bang</i> . . . . .	128
La hipótesis de Planck y la catástrofe del ultravioleta . . . . .	129
Cuerpos negros: ley de Stefan-Boltzmann y ley del desplazamiento de Wien . . . . .	130
Efecto fotoeléctrico . . . . .	132
Efecto Compton . . . . .	134
Teoría de De Broglie . . . . .	135
Teoría de la mecánica cuántica . . . . .	136
Efecto túnel . . . . .	138
Principio de entrelazamiento cuántico . . . . .	139
CAPÍTULO 4. JUGADAS HISTÓRICAS: LOS EXPERIMENTOS CLAVE DE LA FÍSICA	141
El descubrimiento del movimiento de los átomos: el movimiento browniano . . . . .	141
La determinación de la constante de la gravitación universal: el experimento de Cavendish . . . . .	143
El descubrimiento de la cuantización de la carga eléctrica: el experimento de Millikan . . . . .	145
El avance de las ondas: el experimento de Fresnel . . . . .	147
La fuerza de Lorentz: el ciclotrón . . . . .	149
La primera reacción nuclear controlada: el Chicago Pile . . . . .	151
El espín cuántico: el experimento de Stern- Gerlach . . . . .	154
La demostración del principio de conservación de la energía: el experimento de Joule . . . . .	156
El fracaso rotundo más importante de la física: el experimento de Michelson-Morley . . . . .	157
La verificación de la dilatación del tiempo: el experimento de Hafele-Keating . . . . .	160
La radiación de fondo de microondas: el WMAP . . . . .	162
El LIGO: la detección de las ondas gravitatorias . . . . .	164
La detección del bosón de Higgs . . . . .	166

La caída de los cuerpos de Galileo y el experimento de Riccioli . . . . .	168
El experimento de Rutherford . . . . .	169
CAPÍTULO 5. TRAMPAS EN EL JUEGO: LA PSEUDOFÍSICA . . . . .	173
Las estelas de los aviones: nubes antrópicas versus el complot de los <i>chemtrails</i> . . . . .	174
La Tierra es plana: los terraplanistas . . . . .	178
Las radiaciones del móvil y las wifis . . . . .	180
Viajeros del futuro . . . . .	182
La videncia del futuro . . . . .	184
Mundos extrasensoriales: la física cuántica lo explica todo . . . . .	185
El horno de microondas . . . . .	187
El horóscopo: predicción del futuro y predeterminación del carácter . . . .	188
Pulseras magnéticas . . . . .	190
Teoría de los ovnis . . . . .	191
Telequinesis: mover objetos con la fuerza de la mente . . . . .	192
Telepatía: transmisión de información de cerebro a cerebro . . . . .	194
<i>Bibliografía</i> . . . . .	197

## Introducción

Para disfrutar de un juego, aparte de tener cierta habilidad y destreza, es necesario conocer el tablero, las fichas y las reglas del juego. Sin ese conocimiento, no podemos disfrutar del juego y pueden hacernos trampas sin que nos demos cuenta... De manera similar, no podemos apreciar ni saber realmente el funcionamiento de los fenómenos físicos que observamos y suceden a nuestro alrededor sin conocer el entorno en el que se producen, las escalas espaciales y temporales y, sobre todo, cuáles son las reglas que los rigen. Aprender física significa comprender el ámbito y la escala en que tienen lugar los fenómenos y cuáles son las reglas de la naturaleza para así poder entender la diversidad de fenómenos que ocurren en nuestro Universo.

Como si se tratara de un juego, este libro pretende mostrar el tablero, las fichas y las reglas de ese juego que es la física. El libro se estructura en cinco capítulos. En el capítulo 1 se describe qué es la física, cuáles son las distintas escalas de los fenómenos físicos, las magnitudes y las fichas de la partida. El capítulo 2 se centra en las fuerzas de la naturaleza y los principios de conservación. El capítulo 3 expone las principales teorías, las leyes, los principios y los efectos más importantes de la física. El capítulo 4 se focaliza en los experimentos clave de la historia de la física, lo que podríamos llamar las partidas maestras. El último capítulo habla de cómo la pseudofísica se apropia del lenguaje y malinterpreta, de manera intencionada o sin querer, algunas leyes y teorías para crear falsa física. Son las trampas del juego.

Con todo ese contenido, el lector puede hacerse una idea de los fundamentos de ese gran edificio que es la física: principios de conservación, principios, leyes, teorías y efectos (figura 1).

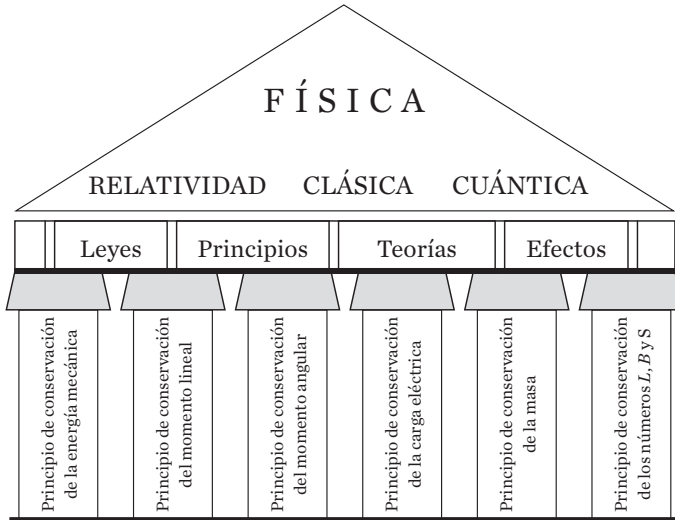


Figura 1. La física y los principios de conservación que la sustentan.

Una *teoría* es un conjunto de reglas y conceptos científicos que expresan las relaciones que existen entre las observaciones de un determinado fenómeno físico. Se construye para ajustarse a los datos de los que se dispone sobre esas observaciones; la teoría se plantea como un principio para explicar un determinado fenómeno: se basa en hipótesis que se han ido validando. Es importante remarcar que una teoría es un planteamiento sobre las reglas de un fenómeno experimental, cuya validez no se ha comprobado. Una teoría puede ser válida hoy, pero incompleta o errónea en el futuro si se realizan nuevos experimentos o se encuentran datos que así lo demuestran. Cuando se verifica y se tiene la seguridad de que es cierta, se convierte en ley.

## INTRODUCCIÓN

Una *ley* es un conjunto de definiciones, proposiciones y conceptos científicos que están interrelacionados de manera constante e invariable y que presentan una perspectiva sistemática de los fenómenos. Las leyes pueden demostrarse comprobando las proposiciones en las que se fundamentan. Una ley es una teoría que ha demostrado ser verdadera y que no falla. Siempre que se deja caer una piedra, cae hacia el suelo y, por lo tanto, hablamos de la ley de la gravedad. Cuando aplicamos una fuerza sobre un objeto, este reacciona con una fuerza idéntica en sentido contrario y eso siempre es así: es la tercera ley de Newton.

Un *principio* es una ley física que se cumple y que sirve de base para un razonamiento amplio. Se considera una ley general que regula un determinado tipo de fenómeno físico. Entre los principios destacan los denominados *principios de conservación*, que son los fundamentos de la física, por los cuales determinadas magnitudes mantienen su valor constante en el tiempo. Es decir, antes y después de un determinado fenómeno, aunque haya tenido lugar un cambio físico, su valor global es el mismo, se mantiene constante. Saber cuáles son esas variables que se conservan es como una linterna en la oscuridad: nos permite tener una visión de lo que nos rodea.

Un *efecto* es el resultado que se obtiene como consecuencia de algún hecho después de una causa. Constituye un fenómeno que se genera por una causa determinada y que va acompañado de unas manifestaciones físicas puntuales.

Así pues, este libro trata de teorías, principios y principios de conservación, leyes y efectos de la física. Todos ellos sustentan juntos el Universo físico que conocemos.

JORDI MAZÓN

# CAPÍTULO 1

## El tablero y las fichas del juego: ¿qué es la física?

Para empezar a entender el mundo de la física, en primer lugar, es necesario saber cuál es su ámbito de estudio, cuál es exactamente el objetivo que se plantea y con qué herramientas cuenta. Esa es la finalidad del primer capítulo.

### LA FÍSICA: CIENCIA DE LA EXPERIMENTACIÓN Y LA MEDICIÓN

En la enseñanza secundaria, los libros de ciencias se han agrupado típicamente en física y química, por un lado, y biología y geología, por otro. Esa agrupación clásica no es aleatoria, sino que responde a un criterio global bien definido. La física y la química tienen en común que son ciencias de la experimentación, mientras que la biología y la geología han sido históricamente ciencias de la observación (aunque desde hace décadas también lo son de la experimentación). Es decir, para avanzar en el conocimiento de la física y la química, es necesario, sobre todo, experimentar. A partir de los experimentos realizados y de la posterior observación y medición de magnitudes, el conocimiento sobre el mundo físico y químico que nos rodea se amplía. En biología y geología, históricamente no se llevaban a cabo experimentos: no podemos hacer que la placa tectónica

euroasiática choque con la africana y ver cómo se forman las montañas. Basándonos en la observación de los pliegues de las montañas, las rocas o los sedimentos en distintas zonas, podemos construir una teoría y así ir avanzando en el conocimiento geológico y biológico del mundo que nos rodea. Lo mismo puede decirse de la biología clásica, aunque actualmente también sea una ciencia de la experimentación.

Por ello decimos que la física es una ciencia de la experimentación. Necesitamos llevar a cabo experimentos, observar su resultado y, sobre todo, medir *cosas* de manera objetiva. La medición es clave para cuantificar y para obtener, refutar y confirmar leyes, principios y teorías de la física.

En este libro no propondremos experimentos ni haremos medir nada. A lo largo de la historia, las distintas leyes, teorías y principios que han planteado los físicos han quedado confirmados a partir de los experimentos y de la medición de esas *cosas* (las magnitudes). Ese es el verdadero juego de la física: hacerse preguntas que relacionen magnitudes, llevar a cabo experimentos y medir esas magnitudes para construir así un conocimiento del mundo físico.

Necesitamos ver cuál es el tablero de juego de la física y qué fichas hay que usar. Una vez que tengamos eso claro, nos hará falta conocer las reglas del juego.

### EL TABLERO DE JUEGO: EL ÁMBITO DE ESTUDIO DE LA FÍSICA

El objetivo de la física es dar respuestas al porqué de los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor, en el Universo. Ese es, de hecho, el tablero de juego de la física, en el que sucede todo tipo de acontecimientos en una escala temporal y espacial muy amplia, que va desde un tamaño inferior al del núcleo atómico hasta dimensiones que incluyen galaxias e incluso el Universo entero; en el que los fenómenos duran desde menos de milésimas de segundo hasta eones y pueden producirse en un abanico que

## ¿QUÉ ES LA FÍSICA?

comprende desde velocidades extremadamente lentas hasta velocidades cercanas a la de la luz, un tope imposible de superar.

Seguramente, la física es, de entre todas las ciencias, la que tiene un alcance espacial y temporal mayor. Si nos fijamos en la escala espacial, la física estudia dimensiones tan pequeñas como las de las partículas subatómicas (interacciones entre cuarks de un orden de magnitud de  $10^{-18}$  m) hasta las de las galaxias o del Universo entero (distancias superiores a  $10^{22}$  m). Ninguna otra ciencia tiene una escala espacial tan amplia.

La escala temporal también es amplísima: desde fenómenos físicos con una duración inferior en millones de veces a las milésimas de segundo, como la desintegración del bosón de Higgs, estimada en  $10^{-22}$  segundos, hasta fenómenos que ocurren en miles de millones de años, como la rotación de galaxias o la formación de estrellas y sistemas planetarios.

La tabla 1 muestra un esquema de la diversidad de escalas espaciotemporales que estudia la física.

$v = c$	Física cuántica relativista	Física relativista	Cosmología relativista
$v \ll c$	Física cuántica	Física clásica o newtoniana	Cosmología
<b>Velocidad</b>  <b>Tamaño</b>	<b>Partículas subatómicas - átomo</b> <b><math>10^{-18} - 10^{-10}</math> m</b>	<b>Microscópica - cotidiana</b> <b><math>10^{-8}</math> m - <math>10^{19}</math> m</b>	<b>Galaxia</b> <b><math>10^{20}</math> m</b>

**Tabla 1.** Alcance espaciotemporal de la física. La velocidad de la luz al vacío se representa con la letra  $c$  y equivale a  $3 \cdot 10^8$  m/s.

La física que conocemos en nuestro día a día, la que podríamos calificar como física intuitiva, es la física clásica o newtoniana. Comprende los fenómenos que tienen lugar a unas velocidades muy inferiores a las de la luz y en unas escalas espaciales que están por encima del tamaño del átomo. Es la física que describieron matemáticamente físicos como Isaac

Newton con sus leyes en el siglo XVI y que otros científicos han ido desarrollando desde entonces.

Cuando los procesos físicos ocurren a velocidades cercanas a la de la luz, la física clásica deja de ser válida y entra en juego la física relativista, cuyo padre fue Albert Einstein, quien la desarrolló en unos trabajos cruciales que publicó en 1905 y 1912, correspondientes a las denominadas teoría especial y teoría general de la relatividad, respectivamente.

El tamaño de los fenómenos y procesos físicos que se estudian importa y la física clásica también deja de ser válida para unas dimensiones iguales o inferiores a las del átomo. La física cuántica, desarrollada a comienzos del siglo XX, es la que permite describir los fenómenos de esa pequeña escala espacial. La física clásica no es incorrecta en el ámbito de la relatividad o de la cuántica: simplemente, deja de ser válida, y entonces son la relatividad y la cuántica las que entran en juego. Tanto la relatividad como la cuántica reproducen la física newtoniana en los límites clásicos, es decir, en tamaños superiores a los del átomo y a velocidades muy inferiores a la de la luz en el vacío, respectivamente.

### SISTEMAS DE REFERENCIA

Los cuerpos de nuestro alrededor se mueven: las hojas de los árboles caen, los pájaros vuelan, la Luna cambia de posición noche tras noche, los planetas cambian su posición en el cielo, el cabello y las uñas crecen, los continentes se desplazan, las nubes se forman, se mueven y se disipan, etcétera. Todo lo que hay en el Universo está en constante movimiento y el ser humano ha sentido desde siempre la necesidad de entender y describir ese movimiento. Determinar la posición de los objetos es el primer paso, imprescindible, para su estudio, y para ello es necesario fijar un origen a partir del cual puedan definirse las posiciones espaciales de los objetos. Es lo que en física se conoce como sistema de referencia.

No existe un único sistema de referencia sobre el que puedan situarse los objetos, sino que hay infinitos: los que defina cada observador. Por ejemplo, la posición de un avión y el movimiento que describe en el cielo vistos por un observador que está en reposo en tierra son muy distintos de los que verá otro observador que vaya en un tren que se mueve a una velocidad constante, un astronauta de la Estación Espacial Internacional que orbita la Tierra o un piloto de otro avión. Si dejamos caer una piedra desde la ventanilla de un tren que circula a gran velocidad y describimos el movimiento desde el suelo, veremos cómo traza una parábola, mientras que, si lo describimos desde la ventanilla, suponiendo que no haya fricción con el aire, veremos que cae verticalmente respecto a nosotros. Todo depende del sistema de referencia que utilicemos. Eso no es ningún problema, ya que existen relaciones matemáticas, denominadas transformaciones de Galileo, que permiten describir el movimiento de un objeto desde otro sistema de referencia que se mueve respecto al primero.

Desde un punto de vista más filosófico, históricamente se ha planteado la existencia de un sistema de referencia en reposo absoluto. El libro que el lector tiene en las manos está en reposo respecto a su punto de vista, pero, en cambio, se está moviendo respecto al sistema de referencia situado sobre el Sol. La Tierra rota sobre su eje a medida que se desplaza alrededor del Sol por la eclíptica. No obstante, el Sol tampoco está en reposo visto desde un sistema de referencia centrado en la galaxia, la cual se encuentra en rotación sobre su centro. Pero resulta que ese centro galáctico tampoco está en reposo, ya que gira alrededor de un grupo local de galaxias, que se desplazan con el Universo. El reposo absoluto no existe en el Universo: siempre hay un sistema de referencia en movimiento relativo.

La primera de las leyes de Newton establece, como se verá más adelante, que, si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza, este seguirá moviéndose de manera indefinida en una trayectoria rectilínea con velocidad constante o bien estará en reposo, entendido como un estado sin velocidad. Einstein, con su teoría de la relatividad, confirmó que el repo-