**Modelo estándar de la física de partículas**



El modelo estándar de [partículas elementales](https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_elemental).

El **modelo estándar** de la [física de partículas](https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas) es una [teoría relativista de campos cuánticos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_cu%C3%A1ntica_de_campos) desarrollada entre [1970](https://es.wikipedia.org/wiki/1970) y [1973](https://es.wikipedia.org/wiki/1973) [[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] basada en las ideas de la unificación y simetrías[1](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas) que describe la estructura fundamental de la [materia](https://es.wikipedia.org/wiki/Materia) y el [vacío](https://es.wikipedia.org/wiki/Vac%C3%ADo_cu%C3%A1ntico) considerando las [partículas elementales](https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_elemental) como entes irreducibles cuya [cinemática](https://es.wikipedia.org/wiki/Cinem%C3%A1tica) está regida por las cuatro [interacciones fundamentales](https://es.wikipedia.org/wiki/Interacciones_fundamentales) conocidas (exceptuando la gravedad, cuya principal teoría, la [relatividad general](https://es.wikipedia.org/wiki/Relatividad_general), no encaja con los modelos matemáticos del mundo cuántico). La palabra "modelo" en el nombre viene de la década de 1970 cuando no había suficiente evidencia experimental que confirmara el modelo.[1](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas) Hasta la fecha, casi todas las pruebas experimentales de las tres fuerzas descritas por el modelo estándar están de acuerdo con sus predicciones. Sin embargo el modelo estándar no alcanza a ser una teoría completa de las interacciones fundamentales debido a [varias cuestiones sin resolver](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas).

**Índice**

* [1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Introducción](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [1.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Precedentes](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [1.1.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Teoría de campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [1.1.2HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Física electrónica](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [2HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Aspectos clave](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [2.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Simetrías](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [2.2HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Simetrías Discretas](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [2.3HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Simetrías Internas](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [2.3.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Ruptura espontánea de simetría](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [3HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Organización del modelo](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [4HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Partículas de materia](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [4.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Fermiones de Dirac](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [4.2HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Fermión de Majorana](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [4.3HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Organización de los fermiones elementales](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [4.3.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Lista de fermiones del Modelo Estándar](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [5HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Modelo estándar de leptones](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [5.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Interacciones](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [5.2HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Generación de masa](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [5.3HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Oscilación de neutrinos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [6HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Modelo estándar de *HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"cuarks*](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [6.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Mecanismo Glashow-Iliopolous-Maiani](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [6.2HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Mecanismo Cabibbo-Kobayashi-Maskawa](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [6.3*HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Cuark Top*](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [7HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Campos de norma o "gauge"](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [8HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Sector Electrodébil](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [9HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Generación de masa](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [9.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Mecanismo de Higgs](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [10HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Pruebas y predicciones](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [11HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Insuficiencias del modelo estándar](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [12HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Parámetros arbitrarios del modelo estándar](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [12.1HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Constantes de acoplamiento](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [12.2HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Masas de los fermiones cargados](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [12.3HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Ángulos de mezcla de la matriz CMK](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [12.4HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Parámetros del mecanismo de Higgs](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [12.5HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Parámetro θ de la Cromodinámica Cuántica](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [12.6HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Parámetros de Oscilación de los neutrinos](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [13HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Extensiones al modelo estándar](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [14HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Véase también](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [15HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Referencias](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)
* [16HYPERLINK "https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\_est%C3%A1ndar\_de\_la\_f%C3%ADsica\_de\_part%C3%ADculas"Bibliografía](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)

Introducción[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=1)]

A principios del siglo XXI, el problema de reducir las leyes que gobiernan el comportamiento y la interacción de todas las [interacciones fundamentales](https://es.wikipedia.org/wiki/Interacciones_fundamentales) de la materia seguía siendo un [problema no resuelto](https://es.wikipedia.org/wiki/Problemas_no_resueltos_de_la_f%C3%ADsica). El trabajo teórico durante el siglo XX, llevó a una teoría que reducía a un esquema común el [electromagnetismo](https://es.wikipedia.org/wiki/Electromagnetismo) y la fuerza débil, y se poseía un modelo adecuado de la fuerza fuerte. Sin embargo, a pesar de diversas propuestas prometedoras existían tres teorías diferentes para explicar las diferentes interacciones fundamentales, a saber:

**Teoría electrodébil**

La teoría o modelo electrodébil unifica la interacción electromagnética con la materia, la electrodinámica cuántica, con la fuerza nuclear débil, las cuales fueron formuladas en principio de forma independiente.

La electrodinámica cuántica se origina en 1927 en un apéndice de un artículo de Born, Heisenberg y Jordan sobre mecánica matricial en la que este último quantiza el campo electromagnético libre. Fue subsecuentemente desarrollado por Dirac, Jordan, Pauli, Heisenberg y otros y culminó antes de 1950 en un trabajo de Tomonaga, Schwinger, Feynman y Dyson. El cálculo del desplazamiento Lamb y el valor exacto de la razón giromagnética del electrón son las predicciones destacables de la electrodinámica cuántica. La teoría de la fuerza nuclear débil empezó en 1932 con la teoría de Fermi para la desintegración beta. Las mejoras de la teoría para los nucleones fueron hechas en la teoría V-A que tiene en cuenta la violación de paridad. Sin embargo los cálculos teóricos de electrodinámica cuántica para el modelo de Fermi conducían a infinitos.

El problema se superó entre 1961 y 1968 por Glashow, Weinberg, Salam y otros unificando las teorías electromagnéticas y nuclear débil.

**Cromodinámica cuántica**

La fuerza nuclear fuerte queda explicada como interacciones fuertes entre cuarks en la cromodinámica cuántica, formulada por Fritzsch, Gell-Man, Leutwyler, y luego por t'Hooft y otros. Esta teoría supone tres "cargas fuertes" como fuente de las fuerzas.

**Teoría general de la relatividad**

Desarrollada originalmente por Einstein, es la culminación de la mecánica clásica quedando enmarcado en una misma teoría la gravitación y la mecánica.

Frente a este panorama, el [Modelo Estándar](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_Est%C3%A1ndar) agrupa, pero no unifica, las dos primeras teorías –el [modelo electrodébil](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_electrod%C3%A9bil) y la [cromodinámica cuántica](https://es.wikipedia.org/wiki/Cromodin%C3%A1mica_cu%C3%A1ntica)– lo que proporciona una teoría internamente consistente que describe las interacciones entre todas las partículas observadas experimentalmente.

**Precedentes**[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=2)]

Como antecedentes del modelo estándar se pueden citar a la [teoría de campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_campos) y la [teoría atómica](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_at%C3%B3mica).

La teoría atómica supone que la materia está constituida por entes indivisibles. Los descubrimientos de [J. J. Thomson](https://es.wikipedia.org/wiki/Joseph_John_Thomson) sobre el [electrón](https://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3n) y de [E. Rutherford](https://es.wikipedia.org/wiki/Ernest_Rutherford) sobre el [núcleo atómico](https://es.wikipedia.org/wiki/N%C3%BAcleo_at%C3%B3mico) dieron un mejor entendimiento de la estructura interna del átomo dando lugar a la física [electrónica](https://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3nica) y la [física nuclear](https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%ADsica_nuclear) respectivamente.

**Teoría de campos**[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=3)]

*Artículos principales:* [Teoría de campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_campos) *y* [Teoría cuántica de campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_cu%C3%A1ntica_de_campos)*.*

La primera, iniciada por [M. Faraday](https://es.wikipedia.org/wiki/Michael_Faraday),[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] es la mejor explicación a la acción a distancia. En un entendimiento clásico de la naturaleza hay tres fenómenos que presentan una acción a distancia: [electricidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Electricidad), [magnetismo](https://es.wikipedia.org/wiki/Magnetismo) y [gravedad](https://es.wikipedia.org/wiki/Gravedad). Las primeras dos se consideraron fuerzas independientes hasta que [H. C. Ørsted](https://es.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted) descubrió que la corriente eléctrica y el magnetismo estaban relacionados.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] [J. C. Maxwell](https://es.wikipedia.org/wiki/James_Clerk_Maxwell) describe matemáticamente la relación mutua entre los campos eléctricos y magnéticos dando un marco teórico completo para la [teoría electromagnética](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_electromagn%C3%A9tica). Finalmente [A. Einstein](https://es.wikipedia.org/wiki/Albert_Einstein) unificó ambos campos motivado por la aparente asimetría al aplicar las ecuaciones de Maxwell a cuerpos en movimiento.[2](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas) Un esfuerzo posterior lo llevó a generalizar esta teoría para cuerpos acelerados y el campo gravitatorio en la teoría general de la Relatividad.

En la [teoría clásica de campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_cl%C3%A1sica_de_campos) se modela la [acción a distancia](https://es.wikipedia.org/wiki/Acci%C3%B3n_a_distancia) entre cuerpos puntuales mediante un campo [continuo](https://es.wikipedia.org/wiki/Continuidad_(matem%C3%A1ticas)) que toma, transporta y cede energía de y a los cuerpos. Actualmente en física de partículas, la dinámica de la materia y de la energía en la naturaleza se entiende mejor en términos de [cinemática](https://es.wikipedia.org/wiki/Din%C3%A1mica_del_punto_material) e interacciones de [partículas fundamentales](https://es.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_elemental).[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] Técnicamente, la [teoría cuántica de campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_cu%C3%A1ntica_de_campos) proporciona el marco matemático para el modelo estándar. El modelo estándar describe cada tipo de partícula en términos de un campo matemático.[[*aclaración requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Ayuda:C%C3%B3mo_escribir_mejores_art%C3%ADculos)] Sin embargo, este marco no hace una distinción esencial entre campo y partícula: ambos pueden ser descritos por una función continua en el espacio o bien como partículas puntuales.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] Ninguno de los anteriores ofrece una explicación satisfactoria.[3](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas) Para una descripción técnica de los campos y de sus interacciones, ver la [Teoría cuántica de campos](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_cu%C3%A1ntica_de_campos).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Simetría de la** [**función de onda**](https://es.wikipedia.org/wiki/Funci%C3%B3n_de_onda) | [**Estadística**](https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%ADsica_estad%C3%ADstica) | [**Cuánto**](https://es.wikipedia.org/wiki/Cuanto) **del campo** | **Tipo de campo** | [**Spin**](https://es.wikipedia.org/wiki/Esp%C3%ADn) | **Ejemplos** | **Interpretación** |
| *{\displaystyle \phi \_{1,2}=\phi \_{2,1}}* | [Bose-Einstein](https://es.wikipedia.org/wiki/Estad%C3%ADstica_de_Bose-Einstein) | [Bosón](https://es.wikipedia.org/wiki/Bos%C3%B3n) | Bosónico | Entero | [Campo escalar](https://es.wikipedia.org/wiki/Campo_escalar), [campo "gauge"](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_campo_de_gauge) | Las partículas del campo pueden compartir el mismo estado de energía y formar un [condensados](https://es.wikipedia.org/wiki/Condensado_de_Bose-Einstein). En mismo volumen pueden existir arbitrariamente muchos bosones. Dota a la materia de su [masa](https://es.wikipedia.org/wiki/Masa). |
| *{\displaystyle \psi \_{1,2}=-\psi \_{2,1}}* | [Fermi-Dirac](https://es.wikipedia.org/wiki/Estad%C3%ADstica_de_Fermi-Dirac) | [Fermión](https://es.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n) | Fermiónico | Semientero | [Campo espinoral](https://es.wikipedia.org/wiki/Campo_espinorial): [Fermión de Dirac](https://es.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n_de_Dirac), [fermión de Majorana](https://es.wikipedia.org/wiki/Fermi%C3%B3n_de_Majorana), fermión de Weyl | En un mismo volumen pueden existir una limitada cantidad de partículas del campo, obedeciendo al [principio de exclusión de Pauli](https://es.wikipedia.org/wiki/Principio_de_exclusi%C3%B3n_de_Pauli). Dota a la materia de [volumen](https://es.wikipedia.org/wiki/Volumen) e [impenetrabilidad](https://es.wikipedia.org/wiki/Impenetrabilidad). |

**Física electrónica**[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=4)]

La [teoría cuántica del electrón](http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/117/778/610) ideada por [Paul Dirac](https://es.wikipedia.org/wiki/Paul_Dirac) describe al electrón a velocidades relativistas. De esta se desprende la idea del spin en forma natural como parte de la solución a la formulación relativista de [ecuación de Schrödinger](https://es.wikipedia.org/wiki/Ecuaci%C3%B3n_de_Schr%C3%B6dinger).[[1]](https://web.archive.org/web/20161011182628/http://www.famaf.unc.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/ecuacion_de_dirac2.pdf) Este esfuerzo excedió las expectativas, no sólo explicando el espectro de ciertos átomos[[*¿cuál?*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Palabras_que_evitar)] sino la predicción confirmada en 1932 de electrones con carga positiva: los [positrones](https://es.wikipedia.org/wiki/Positr%C3%B3n). Sin embargo, estas ecuaciones describen al electrón como un único electrón o un gas ideal de electrones, y también que el campo eléctrico del electrón es despreciable con respecto al que está inmerso.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] La investigación teórica sobre la interacción del electrón con el campo electromagnético y entre electrones da lugar a la electrodinámica cuántica. Esta última se la considera sumamente exitosa por el grado de precisión de sus predicciones.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)]

Los métodos y conceptos utilizados en la electrodinámica cuántica dieron lugar a la teoría cuántica de campos y sentó las bases sobre la que se apoya el modelo estándar.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)]

Aspectos clave[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=5)]

**Simetrías**[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=6)]

Las simetrías son invarianzas ante transformaciones. El teorema de Noether establece una correspondencia entre una simetría y una ley de conservación, es decir establece una razón fundamental por la cual se observa la conservación de ciertas magnitudes.

|  |  |
| --- | --- |
| **Transformación espacio-temporal** | **Magnitud conservada** |
| Traslación espacial | Momento lineal |
| Rotación | Momento angular |
| Traslación temporal | Energía |

**Simetrías Discretas**[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=7)]

[Wolfgang Pauli](https://es.wikipedia.org/wiki/Wolfgang_Ernst_Pauli) y [Julian Schwinger](https://es.wikipedia.org/wiki/Julian_Schwinger) independientemente, demostraron que la invariancia bajo las transformaciones de Lorentz, implica una invariancia CPT.[4](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas) Esto es, los campos cuánticos relativistas son invariantes ante el cambio de partícula por su antipartícula y viceversa ([Simetría C](https://es.wikipedia.org/wiki/Conjugaci%C3%B3n_de_carga)), invariantes ante la inversión especular ([Simetría P](https://es.wikipedia.org/wiki/Paridad_(f%C3%ADsica))) e invariantes ante la inversión temporal ([Simetría T](https://es.wikipedia.org/wiki/Simetr%C3%ADa_temporal)).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | [**Transformación de Paridad**](https://es.wikipedia.org/wiki/Paridad_(f%C3%ADsica)) | |
| Leptones levógiros | Leptones dextrógiros |
| [**Conjugación de carga**](https://es.wikipedia.org/wiki/Conjugaci%C3%B3n_de_carga) | Materia | *{\displaystyle {\binom {\nu \_{e}}{e^{-}}}\_{\circlearrowleft },{\binom {\nu \_{\mu }}{\mu ^{-}}}\_{\circlearrowleft },{\binom {\nu \_{\tau }}{\tau ^{-}}}\_{\circlearrowleft }}* | *{\displaystyle e\_{\circlearrowright }^{-},\mu \_{\circlearrowright }^{-},\tau \_{\circlearrowright }^{-}}* |
| Antimateria | *{\displaystyle e\_{\circlearrowleft }^{+},\mu \_{\circlearrowleft }^{+},\tau \_{\circlearrowleft }^{+}}* | *{\displaystyle {\binom {e^{+}}{{\bar {\nu }}\_{e}}}\_{\circlearrowright },{\binom {\mu ^{+}}{{\bar {\nu }}\_{\mu }}}\_{\circlearrowright },{\binom {\tau ^{+}}{{\bar {\nu }}\_{\tau }}}\_{\circlearrowright }}* |

Sin embargo, se verificó experimentalmente que la interacción nuclear débil viola la simetría P: se comporta diferente a su imagen especular. Esto supuso que otra simetría es violada para restaurar la simetría CPT.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] De esta manera la simetría CP y la simetría T se supusieron fundamentales.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)] Experimentos sobre el kaón demostraron que el sector cuark viola la simetría CP, consecuentemente la simetría T, aunque esta última no pudo ser verificada experimentalmente debido a su dificultad.[[*cita requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Verificabilidad)]

**Simetrías Internas**[[editar](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas&action=edit&section=8)]

*Artículo principal:* [Teoría de campo de gauge](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_campo_de_gauge)

Las simetrías internas tienen un rol importante en el modelo estándar ya que ellas se desprende la conservación de carga y define inequívocamente la interacción entre partículas.[5](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas)

Simetrías

|  |  |
| --- | --- |
| **Tipo** | **Consecuencias**[6](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_est%C3%A1ndar_de_la_f%C3%ADsica_de_part%C3%ADculas) |
| Global y exacta | Conservación de carga |
| Global y espontáneamente rota | Campos escalares sin masa |
| Local y exacta | Interacciones. Bosones mediadores sin masa. |
| Local y espontáneamente rota | Interacciones. Bosones mediadores masivos. |

La intensidad de la interacción queda determinada por el acoplamiento del fermión al campo gauge. Este acoplamiento coincide con la carga eléctrica en la electrodinámica cuántica y por extensión se las cargas de los fermiones cargados. Debido al teorema de Noether a la simetría introducida le corresponde una conservación de carga. La [ecuación de Yang-Mills](https://es.wikipedia.org/wiki/Campo_de_Yang-Mills) generaliza la electrodinámica cuántica introduciendo nuevas simetrías gauge. Estas simetrías introducen un nuevo bosón, que media la fuerza correspondiente.[[*aclaración requerida*](https://es.wikipedia.org/wiki/Ayuda:C%C3%B3mo_escribir_mejores_art%C3%ADculos)] <https://www.omaze.com/collections/omaze-cars>