

# Máster Título Propio

## Física Cuántica



**tech** universidad privada  
peruano alemana

## Máster Título Propio Física Cuántica

- » Modalidad: **online**
- » Duración: **12 meses**
- » Titulación: **TECH Universidad Privada Peruano Alemana**
- » Acreditación: **60 ECTS**
- » Horario: **a tu ritmo**
- » Exámenes: **online**

Acceso web: [www.techtitute.com/ingenieria/master/master-fisica-cuantica](http://www.techtitute.com/ingenieria/master/master-fisica-cuantica)

# Índice

01

Presentación

02

Objetivos

pág. 4

pág. 8

03

Competencias

04

Dirección del curso

pág. 12

pág. 16

05

Estructura y contenido

pág. 20

06

Metodología

07

Titulación

pág. 36

pág. 44

01

# Presentación

Actualmente se necesitan ingenieros capaces de trasladar el conocimiento de la física a la tecnología. De esa fusión nació, por ejemplo, el telescopio James Webb o el acelerador de partículas que permitió descubrir el bosón de Higgs. Así, en este siglo sigue siendo un gran reto para la Física Cuántica comprender la asimetría entre materia y antimateria, la búsqueda de exoplanetas o los agujeros negros supermasivos. Es por ello por lo que TECH ha creado esta titulación, 100% online con un enfoque teórico-práctico que les permitirá a los egresados profundizar en astrofísica, física nuclear o mecánica cuántica. Además, el alumnado dispone de material didáctico innovador al que podrá acceder las 24 horas del día desde cualquier dispositivo con conexión a internet.



“

Un Máster Título Propio 100% online, con un temario disponible las 24 horas del día, para que avances cuando tú lo deseas en los conceptos claves de la Física Cuántica”

El campo de investigación de la Física Cuántica ofrece una amplitud de líneas de desarrollo con un gran potencial para los profesionales de la ingeniería que deciden adentrarse en este ámbito de exploración y descubrimiento sobre la producción de energía, los átomos ultra fríos, iones atrapados o fotónica.

Gracias a los recientes avances en este campo se han abierto múltiples vías de estudio y actuación en otras disciplinas como la astrofísica, la cosmología, la química, la biología, la medicina o la inteligencia artificial: posibilidades tan extensas como el propio universo. Es por eso que TECH ha diseñado este Máster Título Propio en Física Cuántica, que permitirá a los egresados alcanzar, en tan solo 12 meses, el conocimiento más avanzado sobre los procesos físicos más habituales en física planetaria y solar, los estudios de Paul Dirac o Richard Feynman y la teoría cuántica de campos.

Todo ello, además, a través de un programa impartido en modalidad exclusivamente online, que les permitirá ahondar, cuando lo deseen, en las ecuaciones de Einstein, la solución de Schwarzschild, la materia y energías oscuras o la termodinámica del universo primitivo. Asimismo, los casos de estudio les servirán para integrar la práctica en su desempeño diario profesional.

Esta institución académica ofrece así una excelente oportunidad para los especialistas en ingeniería que deseen progresar en su carrera profesional a través de una enseñanza universitaria de calidad y compatible con sus responsabilidades laborales y/o personales. Y es que tan solo necesitan de un dispositivo electrónico con conexión a internet para poder visualizar el contenido alojado en la plataforma virtual. Sin presencialidad, ni clases con horarios fijos, este programa da, además, la libertad al alumnado de distribuir la carga lectiva acorde a sus necesidades.

Además, el programa de estudios cuenta con 10 exclusivas Masterclasses. Estas corren a cargo de un prestigioso experto internacional que, a modo de Director Invitado, aporta al alumnado una descripción exhaustiva de las últimas innovaciones en el campo de la Física Cuántica.

Este **Máster Título Propio en Física Cuántica** contiene el programa educativo más completo y actualizado del mercado. Sus características más destacadas son:

- ♦ El desarrollo de casos prácticos presentados por expertos en física
- ♦ Los contenidos gráficos, esquemáticos y eminentemente prácticos con los que está concebido recogen una información científica y práctica sobre aquellas disciplinas indispensables para el ejercicio profesional
- ♦ Los ejercicios prácticos donde realizar el proceso de autoevaluación para mejorar el aprendizaje
- ♦ Su especial hincapié en metodologías innovadoras
- ♦ Las lecciones teóricas, preguntas al experto, foros de discusión de temas controvertidos y trabajos de reflexión individual
- ♦ La disponibilidad de acceso a los contenidos desde cualquier dispositivo fijo o portátil con conexión a internet



*Gracias a 10 exclusivas Masterclasses, impartidas por el Director Invitado Internacional de TECH, conseguirás poner al día todas tus competencias investigativas en materia de Física Cuántica"*

“

*La biblioteca de recursos multimedia de esta enseñanza te llevará a conocer las principales aportaciones a la Física Cuántica de Richard Feynman, Paul Dirac, Peter Higgs o Schrödinger”*

El programa incluye, en su cuadro docente, a profesionales del sector que vierten en esta capacitación la experiencia de su trabajo, además de reconocidos especialistas de sociedades de referencia y universidades de prestigio.

Su contenido multimedia, elaborado con la última tecnología educativa, permitirá a los profesionales un aprendizaje situado y contextual, es decir, un entorno simulado que les proporcionará una capacitación inmersiva programada para entrenarse ante situaciones reales.

El diseño de este programa se centra en el Aprendizaje Basado en Problemas, mediante el cual los profesionales deberán tratar de resolver las distintas situaciones de práctica profesional que se les planteen a lo largo del curso académico. Para ello, contarán con la ayuda de un novedoso sistema de videos interactivos realizados por reconocidos expertos.

*Haz clic ahora y adéntrate en una titulación que te permitirá avanzar en tu carrera profesional como ingeniero en el ámbito de la Física Cuántica.*

*Inscríbete en un Máster Título Propio que te llevará a poder resolver los principales problemas existentes en mecánica cuántica.*



02

# Objetivos

TECH ha diseñado esta titulación universitaria con el principal objetivo de ofrecer al alumnado la información más avanzada y exhaustiva sobre Física Cuántica. Para ello, pone a disposición recursos didácticos multimedia, que le permitirá dominar los sistemas cuánticos, la cosmología, el concepto de relatividad y los principales autores en este ámbito. Asimismo, el equipo docente que forma parte de este programa guiará a los profesionales para que puedan obtener fácilmente dichas metas.



“

*El objetivo de TECH eres tú. Avanza en tu carrera profesional como ingeniero gracias al conocimiento más actual sobre el funcionamiento de la supersimetría, cuerdas y dimensiones extras”*



## Objetivos generales

- Adquirir conceptos básicos de astrofísica
- Tener nociones básicas sobre los diagramas de Feynman, como se dibujan y sus utilidades
- Aprender y aplicar los métodos aproximados para estudiar sistemas cuánticos
- Dominar los campos de Klein-Gordon, Dirac y el campo electromagnético



*Conseguirás obtener el conocimiento más exhaustivo sobre las rupturas de las simetrías más comunes"*



## Objetivos específicos

### Módulo 1. Introducción a la física moderna

- Identificar y valorar la presencia de procesos físicos en la vida diaria y en escenarios tanto específicos (aplicaciones médicas, comportamiento de fluidos, óptica o protección radiológica) como comunes (electromagnetismo, termodinámica o mecánica clásica)
- Ser capaces de utilizar herramientas informáticas para resolver y modelar problemas físicos
- Conocer los nuevos desarrollos y avances en el campo de la física, tanto teórica como experimental
- Desarrollar habilidades de comunicación, para redactar informes y documentos, o realizar eficaces presentaciones de estos

### Módulo 2. Métodos matemáticos

- Adquirir nociones básicas de espacios métricos y de Hilbert
- Alcanzar conocimiento sobre las características de los operadores lineales y la teoría de Surm-Liouville
- Conocer la teoría de grupos, de representación de grupos, el cálculo tensorial y sus aplicaciones a la física

### Módulo 3. Física Cuántica I

- Aplicar los conceptos fundamentales de la Física Cuántica y su articulación en leyes, teorías
- Conocer los procesos físicos más habituales en Física Cuántica
- Estar familiarizado con los postulados de la Física Cuántica
- Saber aplicar las herramientas matemáticas características a la Física Cuántica para resolver problemas de mecánica cuántica

#### **Módulo 4. Astrofísica**

- ♦ Comprender y utilizar métodos matemáticos y numéricos de uso habitual en astrofísica
- ♦ Conocer los nuevos desarrollos y avances en el campo de la astrofísica, tanto teórica como experimental
- ♦ Entender los procesos físicos más habituales en cosmología
- ♦ Conocer los procesos físicos más habituales en física planetaria y solar

#### **Módulo 5. Física Cuántica II**

- ♦ Conocer los modelos atómicos con el método variacional
- ♦ Dominar el momento angular intrínseco
- ♦ Comprender la teoría de perturbaciones dependientes del tiempo
- ♦ Entender y saber aplicar el método WKB

#### **Módulo 6. Física nuclear y partículas**

- ♦ Obtener conocimientos básicos de física nuclear y de partículas
- ♦ Saber distinguir los diferentes procesos de desintegración nuclear
- ♦ Conocer los diagramas de Feynam, su uso y saber dibujarlos
- ♦ Saber hacer cálculos de colisiones relativistas

#### **Módulo 7. Teoría cuántica de campos**

- ♦ Adquirir nociones básicas de teoría cuántica de campos
- ♦ Conocer los problemas principales de la cuantización de alguno de los campos y como se soluciona
- ♦ Saber calcular amplitudes de interacciones entre partículas a partir de los diagramas de Feynman
- ♦ Conocer las simetrías C, P, T, las violaciones de simetrías más comunes y el teorema de conservación de la simetría CPT

#### **Módulo 8. Relatividad general y cosmología**

- ♦ Adquirir nociones básicas de relatividad general
- ♦ Aplicar los conocimientos de cálculo y álgebra al estudio de la gravedad usando la teoría de la relatividad general
- ♦ Conocer las ecuaciones de Einstein en formato tensorial
- ♦ Adquirir conocimientos básicos sobre cosmología y el universo primitivo

#### **Módulo 9. Física de las altas energías**

- ♦ Aplicar los conocimientos de teoría cuántica de campos y las matemáticas de teoría de grupos y representaciones a la física de partículas elementales
- ♦ Conocer los mecanismos de rotura espontánea de simetría y el mecanismo de Higgs
- ♦ Tener nociones de física de neutrinos, sus masas y oscilaciones
- ♦ Conocer las normas de Feynman para la electrodinámica cuántica, cromodinámica cuántica y la interacción débil
- ♦ Adquirir nociones básicas de la teoría de Yang–Millis

#### **Módulo 10. Información y computación cuántica**

- ♦ Adquirir nociones básicas de información clásica y cuántica
- ♦ Identificar los algoritmos más comunes de encriptación cuántica de la información
- ♦ Alcanzar nociones básicas sobre la teorías semiacuática y cuántica de la interacción luz materia
- ♦ Conocer las implementaciones más comunes de la información cuántica

03

# Competencias

La estructura de este Máster Título Propio ha sido creada con el fin de poder potenciar las competencias y habilidades de los profesionales de la Ingeniería en el campo de la Física Cuántica. Así, al concluir las 1.500 horas lectivas de esta enseñanza, los egresados serán capaces de aplicar los conceptos adquiridos sobre la teoría cuántica de campos, las leyes físicas a nivel subatómico o desarrollar los diferentes formulismos matemáticos mostrados en este programa. Las simulaciones de casos de estudio serán de gran utilidad para los profesionales, quienes podrán integrar las metodologías mostradas en su praxis diaria.



66

*Esta enseñanza académica te mostrará desde un punto de vista teórico-práctico las posibilidades de la aplicación de las leyes de la física y el estudio de la Vía Láctea"*



## Competencias generales

- Conocer el funcionamiento del universo tanto a escala cosmológica como a estala estelar
- Saber aplicar la solución de Schwarzschild y conocer sus consecuencias
- Comprender las consecuencias del principio de equivalencia
- Determinar la masa de un sistema binario

“

*Impulsa tu carrera profesional dominando los principales postulados de la mecánica cuántica a través de esta titulación. Matricúlate ya”*





### Competencias específicas

---

- ♦ Desarrollar una mentalidad abierta y crítica, llave para comprender las leyes físicas a nivel subatómico
- ♦ Conocer los efectos de las ondas gravitacionales sobre la materia
- ♦ Emplear modelos atómicos con el método variacional
- ♦ Aplicar los postulados de la mecánica cuántica

04

# Dirección del curso

Los profesionales que imparten este programa de TECH son verdaderos referentes en el campo de la Física Cuántica. Estos expertos acumulan logros investigativos y son frecuentemente citados en publicaciones académicas por científicos de la comunidad internacional. A través de sus experiencias prácticas y conocimientos teóricos más actualizados, los miembros de este cuadro docente han conformado un programa exhaustivo, idóneo para los físicos que busquen poner al día sus competencias. Así, gracias a la guía más personalizada de este claustro, los egresados alcanzan una elevadísima especialización.



66

Completarás este programa exclusivo de la  
mano de expertos exhaustivamente preparados  
en las innovaciones de la Física Cuántica"

## Director Invitado Internacional

El Doctor Philipp Kammerlander es experimentado experto de la **Física Cuántica**, con elevado prestigio entre los miembros de la comunidad académica internacional. Desde su incorporación al **Quantum Center** de Zúrich como *Public Program Officer*, ha jugado un papel crucial en la creación de **redes colaborativas** entre instituciones dedicadas a la **ciencia y la tecnología cuántica**. A partir de sus constatados resultados, ha asumido el rol de **Director Ejecutivo** de esa propia institución.

Específicamente desde esa labor profesional, el experto se ha desempeñado en la coordinación de diversas actividades como **talleres y conferencias**, colaborado con varios departamentos del Instituto Federal de Tecnología de Zúrich (ETH por sus siglas en inglés). También, sus acciones han sido decisivas para la **obtención de fondos** y en la creación de estructuras internas más sostenibles que ayuden al rápido desarrollo de funciones del centro al que representa.

Además, aborda conceptos innovadores como la **teoría de la información cuántica** y sobre su **procesamiento**. Sobre estas temáticas ha diseñado programas de estudio y liderado su desarrollo frente a más de 200 estudiantes. Gracias a su excelencia en estos ámbitos, cuenta con distinciones notables como el **Premio Golden Owl** y el **VMP Assistant Award** que destacan su compromiso y habilidad en la enseñanza.

Además de su trabajo en el Quantum Center y ETH Zurich, este investigador tiene una amplia experiencia en la industria tecnológica. Ha ejercido como **ingeniero de software freelance**, diseñando y probando **aplicaciones de análisis empresarial** basado en el **estándar ACTUS** para **contratos inteligentes**. También ha sido consultor en abaQon AG. Su trayectoria diversa y sus logros significativos en la academia y la industria subrayan su versatilidad y dedicación a la innovación y la educación en el campo de la ciencia cuántica.



## Dr. Kammerlander, Philipp

---

- Director Ejecutivo del Quantum Center de Zúrich, Suiza
- Catedrático del Instituto Federal de Tecnología de Zúrich, Suiza
- Gestor de programas públicos entre diferentes instituciones suizas
- Ingeniero de Software Freelance en Ariadne Business Analytics AG
- Consultor de la empresa abaQon AG
- Doctor en Física Teórica y Teoría Cuántica de la Información en el ETH de Zúrich
- Máster en Física en el ETH de Zúrich

“

*Gracias a TECH podrás  
aprender con los mejores  
profesionales del mundo”*

05

# Estructura y contenido

TECH ha confeccionado un Máster Título Propio en Física Cuántica a partir del conocimiento más actual y avanzado en este ámbito. Así, a lo largo de los 10 módulos que conforman el temario, los profesionales de la ingeniería podrán adentrarse en la astrofísica, la dinámica de la mecánica cuántica, los problemas de la materia oscura o los últimos avances en cosmología. Asimismo, gracias al sistema *Relearning*, los egresados podrán progresar de un modo más natural por el contenido, reduciendo incluso las largas horas de estudio tan frecuentes en otras metodologías.



“

Gracias a los casos de estudio práctico  
te adentrarás fácilmente en las normas  
de Feynman”

**Módulo 1. Introducción a la física moderna**

- 1.1. Introducción a la física médica
  - 1.1.1. Cómo aplicar la física a la medicina
  - 1.1.2. Energía de las partículas cargadas en tejidos
  - 1.1.3. Fotones a través de los tejidos
  - 1.1.4. Aplicaciones
- 1.2. Introducción a la física de partículas
  - 1.2.1. Introducción y objetivos
  - 1.2.2. Partículas cuantificadas
  - 1.2.3. Fuerzas fundamentales y cargas
  - 1.2.4. Detección de partículas
  - 1.2.5. Clasificación de partículas fundamentales y modelo estándar
  - 1.2.6. Más allá del modelo estándar
  - 1.2.7. Teorías actuales de generalización
  - 1.2.8. Experimentos de altas energías
- 1.3. Aceleradores de partículas
  - 1.3.1. Procesos para acelerar partículas
  - 1.3.2. Aceleradores lineales
  - 1.3.3. Ciclotrones
  - 1.3.4. Sincrotrones
- 1.4. Introducción a la física nuclear
  - 1.4.1. Estabilidad nuclear
  - 1.4.2. Nuevos métodos en fisión nuclear
  - 1.4.3. Fusión nuclear
  - 1.4.4. Síntesis de elementos superpesados
- 1.5. Introducción a la astrofísica
  - 1.5.1. El sistema solar
  - 1.5.2. Nacimiento y muerte de una estrella
  - 1.5.3. Exploración espacial
  - 1.5.4. Exoplanetas
- 1.6. Introducción a la cosmología
  - 1.6.1. Cálculo de distancias en astronomía
  - 1.6.2. Cálculo de velocidades en astronomía
  - 1.6.3. Materia y energía oscuras
  - 1.6.4. La expansión del universo
  - 1.6.5. Ondas gravitacionales
- 1.7. Geofísica y física a atmosférica
  - 1.7.1. Geofísica
  - 1.7.2. Física atmosférica
  - 1.7.3. Meteorología
  - 1.7.4. Cambio climático
- 1.8. Introducción a la física de la materia condensada
  - 1.8.1. Estados de agregación de la materia
  - 1.8.2. Alótropos de la materia
  - 1.8.3. Sólidos cristalinos
  - 1.8.4. Materia blanda
- 1.9. Introducción a la computación cuántica
  - 1.9.1. Introducción al mundo cuántico
  - 1.9.2. Qubits
  - 1.9.3. Múltiples qubits
  - 1.9.4. Puertas lógicas
  - 1.9.5. Programas cuánticos
  - 1.9.6. Ordenadores cuánticos
- 1.10. Introducción a la criptografía cuántica
  - 1.10.1. Información clásica
  - 1.10.2. Información cuántica
  - 1.10.3. Encriptación cuántica
  - 1.10.4. Protocolos en criptografía cuántica

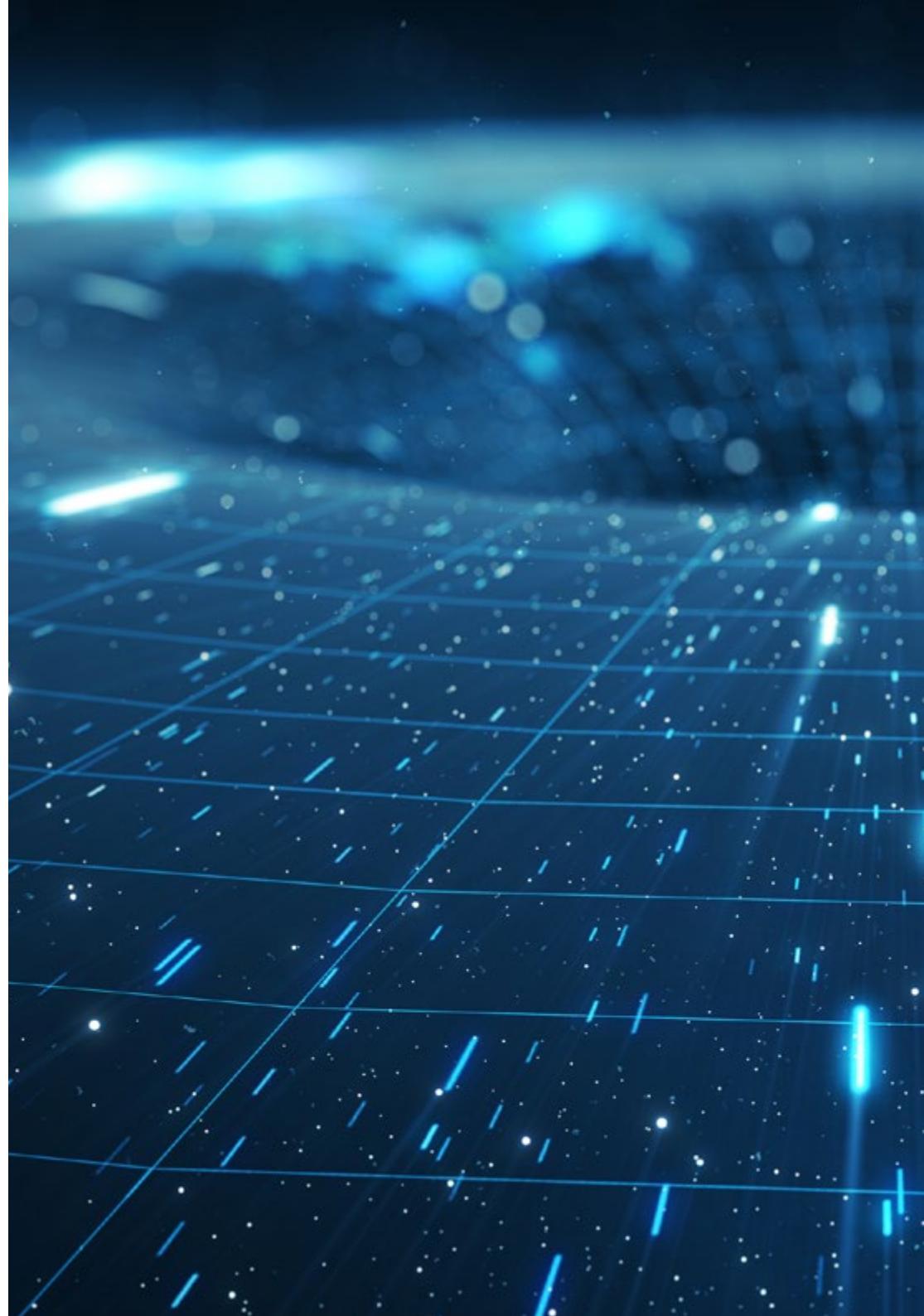
## Módulo 2. Métodos matemáticos

- 2.1. Espacios prehilbertianos
  - 2.1.1. Espacios vectoriales
  - 2.1.2. Producto escalar hermítico positivo
  - 2.1.3. Módulo de un vector
  - 2.1.4. Desigualdad de Schwartz
  - 2.1.5. Desigualdad de Minkowsky
  - 2.1.6. Ortogonalidad
  - 2.1.7. Notación de Dirac
- 2.2. Topología de espacios métricos
  - 2.2.1. Definición de distancia
  - 2.2.2. Definición de espacio métrico
  - 2.2.3. Elementos de topología de espacios métricos
  - 2.2.4. Sucesiones convergentes
  - 2.2.5. Sucesiones de Cauchy
  - 2.2.6. Espacio métrico completo
- 2.3. Espacios de Hilbert
  - 2.3.1. Espacio de Hilbert: definición
  - 2.3.2. Base Herbartiana
  - 2.3.3. Schrödinger vs. Heisenberg. Integral de Lebesgue
  - 2.3.4. Formas continuas de un espacio de Hilbert
  - 2.3.5. Matriz de cambio de base
- 2.4. Operaciones lineales
  - 2.4.1. Operadores lineales: conceptos básicos
  - 2.4.2. Operador inverso
  - 2.4.3. Operador adjunto
  - 2.4.4. Operador autoadjunto u observable
  - 2.4.5. Operador definido positivo
  - 2.4.6. Operador unitario I cambio de base
  - 2.4.6. Operador antiunitario
  - 2.4.7. Proyector
- 2.5. Teoría de Sturm-Liouville
  - 2.5.1. Teoremas de valores propios
  - 2.5.2. Teoremas de vectores propios
  - 2.5.3. Problema de Sturm-Liouville
  - 2.5.4. Teoremas importantes para la teoría de Sturm-Liouville
- 2.6. Introducción a teoría de grupos
  - 2.6.1. Definición de grupo y características
  - 2.6.2. Simetrías
  - 2.6.3. Estudio de los grupos SO(3), SU(2) y SU(N)
  - 2.6.4. Álgebra de Lie
  - 2.6.5. Grupos y física cuántica
- 2.7. Introducción a representaciones
  - 2.7.1. Definiciones
  - 2.7.2. Representación fundamental
  - 2.7.3. Representación adjunta
  - 2.7.4. Representación unitaria
  - 2.7.5. Producto de representaciones
  - 2.7.6. Tablas de Young
  - 2.7.7. Teorema de Okubo
  - 2.7.8. Aplicaciones a la física de partículas
- 2.8. Introducción a tensores
  - 2.8.1. Definición de tensor covariante I contravariante
  - 2.8.2. Delta de Kronecker
  - 2.8.3. Tensor de Levi-Civita
  - 2.8.4. Estudio de SO(N) i SO(3)
  - 2.8.5. Estudio de SU(N)
  - 2.8.6. Relación entre tensores I representaciones
- 2.9. Teoría de grupos aplicada a la física
  - 2.9.1. Grupo de translaciones
  - 2.9.2. Grupo de Lorentz
  - 2.9.3. Grupos discretos
  - 2.9.4. Grupos continuos

- 2.10. Representaciones y la física de partículas
  - 2.10.1. Representaciones de los grupos  $SU(N)$
  - 2.10.2. Representaciones fundamentales
  - 2.10.3. Multiplicación de representaciones
  - 2.10.4. Teorema de Okubo y *Eightfold Ways*

### Módulo 3. Física Cuántica

- 3.1. Orígenes de la Física Cuántica
  - 3.1.1. Radiación de cuerpo negro
  - 3.1.2. Efecto fotoeléctrico
  - 3.1.3. Efecto Compton
  - 3.1.4. Espectro y modelos atómicos
  - 3.1.5. Principio de exclusión de Pauli
    - 3.1.5.1. Efecto Zeeman
    - 3.1.5.2. Experimento de Stern-Gerlach
  - 3.1.6. Longitud de onda de De Broglie y el experimento de la doble rendija
- 3.2. Formulismo matemático
  - 3.2.1. Espacio de Hilbert
  - 3.2.2. Nomenclatura de Dirac: Bra - ket
  - 3.2.3. Producto interno y producto externo
  - 3.2.4. Operadores lineales
  - 3.2.5. Operadores hermíticos y diagonalización
  - 3.2.6. Suma y producto tensorial
  - 3.2.7. Matriz densidad
- 3.3. Postulados de la mecánica cuántica
  - 3.3.1. Postulado 1º: definición de estado
  - 3.3.2. Postulado 2º: definición de observables
  - 3.3.3. Postulado 3º: definición de medidas
  - 3.3.4. Postulado 4º: probabilidad de las medidas
  - 3.3.5. Postulado 5º: dinámica





- 3.4. Aplicación de los postulados de la mecánica cuántica
  - 3.4.1. Probabilidad de los resultados. Estadística
  - 3.4.2. Indeterminación
  - 3.4.3. Evolución temporal de los valores esperados
  - 3.4.4. Compatibilidad y conmutación de observables
  - 3.4.5. Matrices de Pauli
- 3.5. Dinámica de la mecánica cuántica
  - 3.5.1. Representación de posiciones
  - 3.5.2. Representación de momentos
  - 3.5.3. Ecuación de Schrödinger
  - 3.5.4. Teorema de Ehrenfest
  - 3.5.5. Teorema del Virial
- 3.6. Barreras de potencial
  - 3.6.1. Pozo cuadrado infinito
  - 3.6.2. Pozo cuadrado finito
  - 3.6.3. Escalón de potencial
  - 3.6.4. Potencial Delta
  - 3.6.5. Efecto túnel
  - 3.6.6. Partícula libre
- 3.7. Oscilador armónico simple cuántico unidimensional
  - 3.7.1. Analogía con la mecánica clásica
  - 3.7.2. Hamiltoniano y valores propios de energía
  - 3.7.3. Método analítico
  - 3.7.4. Estados "desdibujados"
  - 3.7.5. Estados coherentes
- 3.8. Operadores y observables tridimensionales
  - 3.8.1. Repaso de las nociones de cálculo con varias variables
  - 3.8.2. Operador de posición
  - 3.8.3. Operador momento lineal
  - 3.8.4. Momento angular orbital
  - 3.8.5. Operadores de escala (Ladder Operators)
  - 3.8.6. Hamiltoniano

- 3.9. Valores y funciones propios tridimensionales
    - 3.9.1. Operador de posición
    - 3.9.2. Operador de momento lineal
    - 3.9.3. Operador momento angular orbital y harmónicos esféricos
    - 3.9.4. Ecuación angular
  - 3.10. Barreras de potencial tridimensional
    - 3.10.1. Partícula libre
    - 3.10.2. Partícula en una caja
    - 3.10.3. Potenciales centrales y ecuación radial
    - 3.10.4. Pozo esférico infinito
    - 3.10.5. Átomo de hidrógeno
    - 3.10.6. Oscilador armónico tridimensional
- 
- 4.4. Estrellas
    - 4.4.1. Clasificación de las estrellas
    - 4.4.2. Métodos de determinación de masas de una estrella
    - 4.4.3. Estrellas binarias
    - 4.4.4. Clasificación de estrellas binarias
    - 4.4.5. Determinación de masas de un sistema binario
  - 4.5. Vida de las estrellas
    - 4.5.1. Características de una estrella
    - 4.5.2. Nacimiento de una estrella
    - 4.5.3. Vida de una estrella. Diagramas de Hertzsprung-Russell
    - 4.5.4. Muerte de una estrella
  - 4.6. Muerte de las estrellas
    - 4.6.1. Enanas blancas
    - 4.6.2. Supernovas
    - 4.6.3. Estrellas de neutrones
    - 4.6.4. Agujeros negros
  - 4.7. Estudio de la Vía Láctea
    - 4.7.1. Forma y dimensiones de la Vía Láctea
    - 4.7.2. Materia oscura
    - 4.7.3. Fenómeno de lentes gravitacionales
    - 4.7.4. Partículas masivas de interacción débil
    - 4.7.5. Disco y halo de la Vía Láctea
    - 4.7.6. Estructura espiral de la Vía Láctea
  - 4.8. Agrupaciones de galaxias
    - 4.8.1. Introducción
    - 4.8.2. Clasificación de las galaxias
    - 4.8.3. Fotometría galáctica
    - 4.8.4. El grupo local: introducción
  - 4.9. Distribución de las galaxias a gran escala
    - 4.9.1. Forma y edad del universo
    - 4.9.2. Modelo cosmológico estándar
    - 4.9.3. Formación de estructuras cosmológicas
    - 4.9.4. Métodos observacionales en cosmología

## Módulo 4. Astrofísica

- 4.1. Introducción
  - 4.1.1. Breve historia de la astrofísica
  - 4.1.2. Instrumentación
  - 4.1.3. Escala de magnitudes observacionales
  - 4.1.4. Cálculo de distancias astronómicas
  - 4.1.5. Índice de color
- 4.2. Líneas espectrales
  - 4.2.1. Introducción histórica
  - 4.2.2. Leyes de Kirchhoff
  - 4.2.3. Relación del espectro con la temperatura
  - 4.2.4. Efecto Doppler
  - 4.2.5. Espectrógrafo
- 4.3. Estudio del campo de radiación
  - 4.3.1. Definiciones previas
  - 4.3.2. Opacidad
  - 4.3.3. Profundidad óptica
  - 4.3.4. Fuentes microscópicas de opacidad
  - 4.3.5. Opacidad total
  - 4.3.6. Extinción
  - 4.3.7. Estructura de las líneas espectrales

- 4.10. Materia y energías oscuras
  - 4.10.1. Descubrimiento y características
  - 4.10.2. Consecuencias en la distribución de la materia ordinaria
  - 4.10.3. Problemas de la materia oscura
  - 4.10.4. Partículas candidatas a materia oscura
  - 4.10.5. Energía oscura y consecuencias

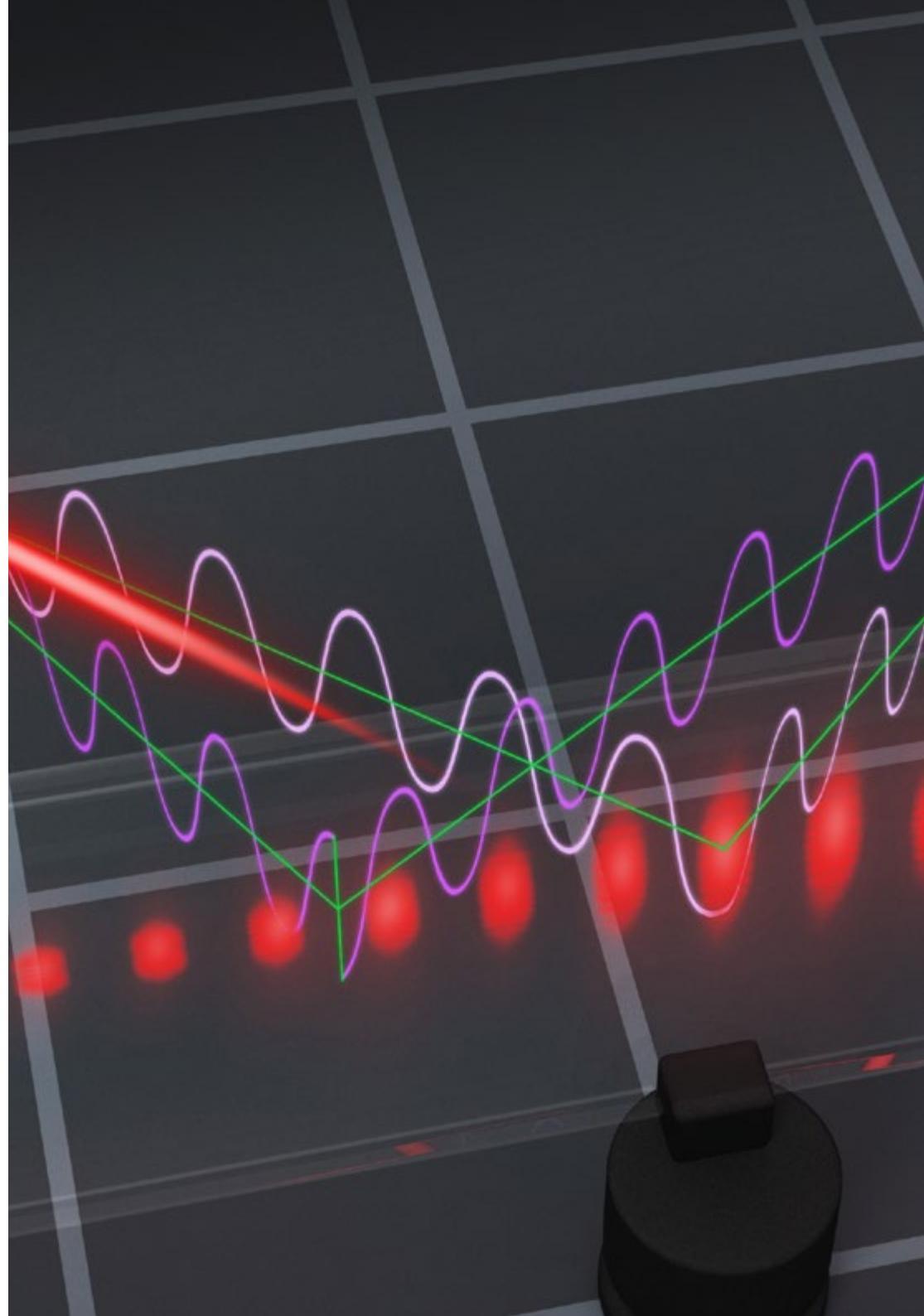
## Módulo 5. Física Cuántica II

- 5.1. Descripciones de la mecánica cuántica: imágenes o representaciones
  - 5.1.1. Imagen de Schrödinger
  - 5.1.2. Imagen de Heisenberg
  - 5.1.3. Imagen de Dirac o de interacción
  - 5.1.4. Cambio de imágenes
- 5.2. Oscilador armónico
  - 5.2.1. Operadores de creación y aniquilación
  - 5.2.2. Funciones de onda de los estados de Fock
  - 5.2.3. Estados coherentes
  - 5.2.4. Estados de mínima indeterminación
  - 5.2.5. Estados "exprimidos"
- 5.3. Momento angular
  - 5.3.1. Rotaciones
  - 5.3.2. Comutadores del momento angular
  - 5.3.3. Base del momento angular
  - 5.3.4. Operadores de escala
  - 5.3.5. Representación matricial
  - 5.3.6. Momento angular intrínseco: el espín
  - 5.3.7. Casos de espín: 1/2, 1, 3/2
- 5.4. Funciones de onda de varias componentes: espinoriales
  - 5.4.1. Funciones de onda de una componente: espín 0
  - 5.4.2. Funciones de onda de dos componentes: espín 1/2
  - 5.4.3. Valores esperados del observable espín
  - 5.4.4. Estados atómicos
  - 5.4.5. Adición de momento angular
  - 5.4.6. Coeficientes de Clebsch-Gordan
- 5.5. Estudio de los sistemas compuestos
  - 5.5.1. Partículas distinguibles
  - 5.5.2. Partículas indistinguibles
  - 5.5.3. Caso de los fotones: experimento del espejo semitransparente
  - 5.5.4. Enlazamiento cuántico
  - 5.5.5. Desigualdades de Bell
  - 5.5.6. Paradoja EPR
  - 5.5.7. Teorema de Bell
- 5.6. Introducción a métodos aproximados: método variacional
  - 5.6.1. Introducción al método variacional
  - 5.6.2. Variaciones lineales
  - 5.6.3. Método variacional de Rayleigh-Ritz
  - 5.6.4. Oscilador harmónico: estudio por métodos variacionales
- 5.7. Estudio de modelos atómicos con el método variacional
  - 5.7.1. Átomo de hidrógeno
  - 5.7.2. Átomo de helio
  - 5.7.3. Molécula de hidrógeno ionizada
  - 5.7.4. Simetrías discretas
    - 5.7.4.1. Paridad
    - 5.7.4.2. Inversión temporal
- 5.8. Introducción a la teoría de perturbaciones
  - 5.8.1. Perturbaciones independientes del tiempo
  - 5.8.2. Caso no degenerado
  - 5.8.3. Caso degenerado
  - 5.8.4. Estructura fina del átomo de hidrógeno
  - 5.8.5. Efecto Zeeman
  - 5.8.6. Constante de acoplamiento entre espines. Estructura hiperfina
  - 5.8.7. Teoría de perturbaciones dependientes del tiempo
    - 5.8.7.1. Átomo de dos niveles
    - 5.8.7.2. Perturbaciones sinusoidales

- 5.9. Aproximación adiabática
  - 5.9.1. Introducción a la aproximación adiabática
  - 5.9.2. El teorema adiabático
  - 5.9.3. Fase de Berry
  - 5.9.4. Efecto Aharonov-Bohm
- 5.10. Aproximación Wentzel-Kramers-Brillouin (WKB)
  - 5.10.1. Introducción al método WKB
  - 5.10.2. Región clásica
  - 5.10.3. Efecto túnel
  - 5.10.4. Fórmulas de conexión

## Módulo 6. Física nuclear y de partículas

- 6.1. Introducción a la física nuclear
  - 6.1.1. Tabla periódica de los elementos
  - 6.1.2. Descubrimientos importantes
  - 6.1.3. Modelos atómicos
  - 6.1.4. Definiciones importantes. Escalas y unidades en física nuclear
  - 6.1.5. Diagrama de Segré
- 6.2. Propiedades nucleares
  - 6.2.1. Energía de enlace
  - 6.2.2. Fórmula semiempírica de la masa
  - 6.2.3. Modelo del gas de Fermi
  - 6.2.4. Estabilidad nuclear
    - 6.2.4.1. Desintegración alfa
    - 6.2.4.2. Desintegración beta
    - 6.2.4.3. Fisión nuclear
  - 6.2.5. Desexcitación nuclear
  - 6.2.6. Desintegración doble beta



- 6.3. Dispersión nuclear
  - 6.3.1. Estructura interna: estudio por dispersión
  - 6.3.2. Sección eficaz
  - 6.3.3. Experimento de Rutherford: sección eficaz de Rutherford
  - 6.3.4. Sección eficaz de Mott
  - 6.3.5. Transferencia del impulso y factores de forma
  - 6.3.6. Distribución de la carga nuclear
  - 6.3.7. Dispersión de neutrones
- 6.4. Estructura nuclear e interacción fuerte
  - 6.4.1. Dispersión de nucleones
  - 6.4.2. Estados ligados. Deuterio
  - 6.4.3. Interacción nuclear fuerte
  - 6.4.4. Números mágicos
  - 6.4.5. El modelo de capas del núcleo
  - 6.4.6. Espín nuclear y paridad
  - 6.4.7. Momentos electromagnéticos del núcleo
  - 6.4.8. Excitaciones nucleares colectivas: oscilaciones dipolares, estados vibracionales y estados rotacionales
- 6.5. Estructura nuclear e interacción fuerte II
  - 6.5.1. Clasificación de las reacciones nucleares
  - 6.5.2. Cinemática de las reacciones
  - 6.5.3. Leyes de conservación
  - 6.5.4. Espectroscopía nuclear
  - 6.5.5. El modelo de núcleo compuesto
  - 6.5.6. Reacciones directas
  - 6.5.7. Dispersión elástica
- 6.6. Introducción a la física de partículas
  - 6.6.1. Partículas y antipartículas
  - 6.6.2. Fermiones y bariones
  - 6.6.3. El modelo estándar de partículas elementales: leptones y quarks
  - 6.6.4. El modelo de quarks
  - 6.6.5. Bosones vectoriales intermedios
- 6.7. Dinámica de partículas elementales
  - 6.7.1. Las cuatro interacciones fundamentales
  - 6.7.2. Electrodinámica cuántica
  - 6.7.3. Cromodinámica cuántica
  - 6.7.4. Interacción débil
  - 6.7.5. Desintegraciones y leyes de conservación
- 6.8. Cinemática relativista
  - 6.8.1. Transformaciones de Lorentz
  - 6.8.2. Cuatrivectores
  - 6.8.3. Energía y momento lineal
  - 6.8.4. Colisiones
  - 6.8.5. Introducción a los diagramas de Feynman
- 6.9. Simetrías
  - 6.9.1. Grupos, simetrías y leyes de conservación
  - 6.9.2. Espín y momento angular
  - 6.9.3. Adición del momento angular
  - 6.9.4. Simetrías de sabor
  - 6.9.5. Paridad
  - 6.9.6. Conjugación de carga
  - 6.9.7. Violación de CP
  - 6.9.8. Inversión del tiempo
  - 6.9.9. Conservación de CPT
- 6.10. Estados ligados
  - 6.10.1. Ecuación de Schrödinger para potenciales centrales
  - 6.10.2. Átomo de hidrógeno
  - 6.10.3. Estructura fina
  - 6.10.4. Estructura hiperfina
  - 6.10.5. Positronio
  - 6.10.6. Quarkonio
  - 6.10.7. Mesones ligeros
  - 6.10.8. Bariones

**Módulo 7. Teoría cuántica de campos**

- 7.1. Teoría clásica de campos
  - 7.1.1. Notación y convenios
  - 7.1.2. Formulación lagrangiana
  - 7.1.3. Ecuaciones de Euler Lagrange
  - 7.1.4. Simetrías y leyes de conservación
- 7.2. Campo de Klein-Gordon
  - 7.2.1. Ecuación de Klein-Gordon
  - 7.2.2. Cuantización del campo de Klein-Gordon
  - 7.2.3. Invariancia de Lorentz del campo de Klein-Gordon
  - 7.2.4. Vacío. Estados del vacío y estados de Fock
  - 7.2.5. Energía del vacío
  - 7.2.6. Ordenación normal: convenio
  - 7.2.7. Energía y momento de los estados
  - 7.2.8. Estudio de la causalidad
  - 7.2.9. Propagador de Klein-Gordon
- 7.3. Campo de Dirac
  - 7.3.1. Ecuación de Dirac
  - 7.3.2. Matrices de Dirac y sus propiedades
  - 7.3.3. Representaciones de las matrices de Dirac
  - 7.3.4. Lagrangiano de Dirac
  - 7.3.5. Solución a la ecuación de Dirac: ondas planas
  - 7.3.6. Comutadores y anticomutadores
  - 7.3.7. Cuantización del campo de Dirac
  - 7.3.8. Espacio de Fock
  - 7.3.9. Propagador de Dirac
- 7.4. Campo electromagnético
  - 7.4.1. Teoría clásica del campo electromagnético
  - 7.4.2. Cuantización del campo electromagnético y sus problemas
  - 7.4.3. Espacio de Fock
  - 7.4.4. Formalismo de Gupta-Bleuler
  - 7.4.5. Propagador del fotón
- 7.5. Formalismo de la Matriz S
  - 7.5.1. Lagrangiano y Hamiltoniano de interacción
  - 7.5.2. Matriz S: definición y propiedades
  - 7.5.3. Expansión de Dyson
  - 7.5.4. Teorema de Wick
  - 7.5.5. Imagen de Dirac
- 7.6. Diagramas de Feynman en el espacio de posiciones
  - 7.6.1. ¿Cómo dibujar los diagramas de Feynman? Normas. Utilidades
  - 7.6.2. Primer orden
  - 7.6.3. Segundo orden
  - 7.6.4. Procesos de dispersión con dos partículas
- 7.7. Normas de Feynman
  - 7.7.1. Normalización de los estados en el espacio de Fock
  - 7.7.2. Amplitud de Feynman
  - 7.7.3. Normas de Feynman para la QED
  - 7.7.4. Invariancia Gauge en las amplitudes
  - 7.7.5. Ejemplos
- 7.8. Sección transversal y tasas de decaimiento
  - 7.8.1. Definición de sección transversal
  - 7.8.2. Definición de taza de decaimiento
  - 7.8.3. Ejemplos con dos cuerpos en el estado final
  - 7.8.4. Sección transversal no polarizada
  - 7.8.5. Suma sobre la polarización de los fermiones
  - 7.8.6. Suma sobre la polarización de los fotones
  - 7.8.7. Ejemplos
- 7.9. Estudio de los muones y otras partículas cargadas
  - 7.9.1. Muones
  - 7.9.2. Partículas cargadas
  - 7.9.3. Partículas escalares con carga
  - 7.9.4. Normas de Feynman para la teoría electrodinámica cuántica escalar

- 7.10. Simetrías
  - 7.10.1. Paridad
  - 7.10.2. Conjugación de carga
  - 7.10.3. Inversión del tiempo
  - 7.10.4. Violación de algunas simetrías
  - 7.10.5. Simetría CPT

## Módulo 8. Relatividad general y cosmología

- 8.1. Relatividad especial
  - 8.1.1. Postulados
  - 8.1.2. Transformaciones de Lorentz en configuración estándar
  - 8.1.3. Impulsos (Boosts)
  - 8.1.4. Tensores
  - 8.1.5. Cinemática relativista
  - 8.1.6. Momento linear y energía relativistas
  - 8.1.7. Covariancia Lorentz
  - 8.1.8. Tensor energía momento
- 8.2. Principio de equivalencia
  - 8.2.1. Principio de equivalencia débil
  - 8.2.2. Experimentos sobre el principio de equivalencia débil
  - 8.2.3. Sistemas de referencia localmente inerciales
  - 8.2.4. Principio de equivalencia
  - 8.2.5. Consecuencias del principio de equivalencia
- 8.3. Movimiento de partículas en campo gravitatorios
  - 8.3.1. Trayectoria de partículas bajo gravedad
  - 8.3.2. Límite Newtoniano
  - 8.3.3. Redshift gravitatorio y pruebas
  - 8.3.4. Dilatación temporal
  - 8.3.5. Ecuación de la geodésica
- 8.4. Geometría: conceptos necesarios
  - 8.4.1. Espacios bidimensionales
  - 8.4.2. Campos escalares, vectoriales y tensoriales
  - 8.4.3. Tensor métrico: concepto y teoría
  - 8.4.4. Derivada parcial
  - 8.4.5. Derivada covariante
  - 8.4.6. Símbolos de Christoffel
  - 8.4.7. Derivadas covariantes se tensores
  - 8.4.8. Derivadas covariantes direccionales
  - 8.4.9. Divergencia y laplaciano
- 8.5. Espacio-tiempo curvo
  - 8.5.1. Derivada covariante y transporte paralelo: definición
  - 8.5.2. Geodésicas a partir del transporte paralelo
  - 8.5.3. Tensor de curvatura de Riemann
  - 8.5.4. Tensor de Riemann: definición y propiedades
  - 8.5.5. Tensor de Ricci: definición y propiedades
- 8.6. Ecuaciones de Einstein: derivación
  - 8.6.1. Reformulación del principio de equivalencia
  - 8.6.2. Aplicaciones del principio de equivalencia
  - 8.6.3. Conservación y simetrías
  - 8.6.4. Deducción de las ecuaciones de Einstein a partir del principio de equivalencia
- 8.7. Solución de Schwarzschild
  - 8.7.1. Métrica de Schwarzschild
  - 8.7.2. Elementos de longitud y tiempo
  - 8.7.3. Cantidad conservadas
  - 8.7.4. Ecuación de movimiento
  - 8.7.5. Deflexión de la luz. Estudio en la métrica de Schwarzschild
  - 8.7.6. Radio de Schwarzschild
  - 8.7.7. Coordenadas de Eddington-Finkelstein
  - 8.7.8. Agujeros negros

- 8.8. Límite de gravedad lineal. Consecuencias
  - 8.8.1. Gravedad lineal: introducción
  - 8.8.2. Transformación de coordenadas
  - 8.8.3. Ecuaciones de Einstein linealizadas
  - 8.8.4. Solución general de las ecuaciones de Einstein linealizadas
  - 8.8.5. Ondas gravitacionales
  - 8.8.6. Efectos de las ondas gravitacionales sobre la materia
  - 8.8.7. Generación de ondas gravitacionales
- 8.9. Cosmología: introducción
  - 8.9.1. Observación del universo: introducción
  - 8.9.2. Principio cosmológico
  - 8.9.3. Sistema de coordenadas
  - 8.9.4. Distancias cosmológicas
  - 8.9.5. Ley de Hubble
  - 8.9.6. Inflación
- 8.10. Cosmología: estudio matemático
  - 8.10.1. Primera ecuación de Friedmann
  - 8.10.2. Segunda ecuación de Friedmann
  - 8.10.3. Densidades y factor de escala
  - 8.10.4. Consecuencias de las ecuaciones de Friedmann. Curvatura del universo
  - 8.10.5. Termodinámica del universo primitivo

### **Módulo 9. Física de las altas energías**

- 9.1. Métodos matemáticos: grupos y representaciones
  - 9.1.1. Teoría de grupos
  - 9.1.2. Grupos  $SO(3)$ ,  $SU(2)$  y  $SU(3)$  y  $SU(N)$
  - 9.1.3. Álgebra de Lie
  - 9.1.4. Representaciones
  - 9.1.5. Multiplicación de representaciones





- 9.2. Simetrías
  - 9.2.1. Simetrías y leyes de conservación
  - 9.2.2. Simetrías C, P, T
  - 9.2.3. Violación de simetrías y conservación de CPT
  - 9.2.4. Momento angular
  - 9.2.5. Adición de momento angular
- 9.3. Cálculo de Feynman: introducción
  - 9.3.1. Tiempo de vida media
  - 9.3.2. Sección transversal
  - 9.3.3. Norma dorada de Fermi para decaimientos
  - 9.3.4. Norma dorada de Fermi para dispersiones
  - 9.3.5. Dispersión de dos cuerpos en el sistema de referencia centro de masas
- 9.4. Aplicación del cálculo de Feynman: modelo juguete
  - 9.4.1. Modelo de juguete: introducción
  - 9.4.2. Normas de Feynman
  - 9.4.3. Tiempo de vida media
  - 9.4.4. Dispersión
  - 9.4.5. Diagramas de orden superior
- 9.5. Electrodinámica cuántica
  - 9.5.1. Ecuación de Dirac
  - 9.5.2. Soluciones para la ecuación de Dirac
  - 9.5.3. Covariantes bilineales
  - 9.5.4. El fotón
  - 9.5.5. Normas de Feynman para la electrodinámica cuántica
  - 9.5.6. Truco de Casimir
  - 9.5.7. Renormalización
- 9.6. Electrodinámica y cromodinámica de los quarks
  - 9.6.1. Normas de Feynman
  - 9.6.2. Producción de hadrones en colisiones electrón - positrón
  - 9.6.3. Normas de Feynman para la cromodinámica
  - 9.6.4. Factores de color
  - 9.6.5. Interacción quark-antiquark
  - 9.6.6. Interacción quark-quark
  - 9.6.7. Aniquilación de parejas en cromodinámica cuántica

- 9.7. Interacción débil
  - 9.7.1. Interacción débil cargada
  - 9.7.2. Normas de Feynman
  - 9.7.3. Decaimiento del muon
  - 9.7.4. Decaimiento de neutrón
  - 9.7.5. Decaimiento del pion
  - 9.7.6. Interacción débil entre quarks
  - 9.7.7. Interacción débil neutral
  - 9.7.8. Unificación electrodébil
- 9.8. Teorías Gauge
  - 9.8.1. Invariancia del Gauge local
  - 9.8.2. Teoría de Yang-Millis
  - 9.8.3. Cromodinámica cuántica
  - 9.8.4. Normas de Feynman
  - 9.8.5. Término de masas
  - 9.8.6. Rotura espontánea de la simetría
  - 9.8.7. Mecanismo de Higgs
- 9.9. Oscilación de neutrinos
  - 9.9.1. El problema de los neutrinos solares
  - 9.9.2. Oscilaciones de neutrinos
  - 9.9.3. Masas de los neutrinos
  - 9.9.4. Matriz de mezcla
- 9.10. Temas avanzados. Breve introducción
  - 9.10.1. Bosón de Higgs
  - 9.10.2. Grand unificación
  - 9.10.3. Asimetría materia antimateria
  - 9.10.4. Supersimetría, cuerdas y dimensiones extras
  - 9.10.5. Materia y energía oscuras

## Módulo 10. Información y computación cuántica

- 10.1. Introducción: matemáticas y cuántica
  - 10.1.1. Espacios vectoriales complejos
  - 10.1.2. Operadores lineales
  - 10.1.3. Producto escalar y espacios de Hilbert
  - 10.1.4. Diagonalización
  - 10.1.5. Producto tensorial
  - 10.1.6. Funciones de operadores
  - 10.1.7. Teoremas importantes sobre operadores
  - 10.1.8. Postulados de la mecánica cuántica revisados
- 10.2. Estados y muestras estadísticas
  - 10.2.1. El qubit
  - 10.2.2. La matriz densidad
  - 10.2.3. Sistemas bipartitos
  - 10.2.4. La descomposición de Schmidt
  - 10.2.5. Interpretación estadística de los estados mezcla
- 10.3. Medidas y evolución temporal
  - 10.3.1. Medidas de von Neumann
  - 10.3.2. Medidas generalizadas
  - 10.3.3. Teorema de Neumark
  - 10.3.4. Canales cuánticos
- 10.4. Entrelazamiento y sus aplicaciones
  - 10.4.1. Estados EPR
  - 10.4.2. Codificación densa
  - 10.4.3. Teleportación de estados
  - 10.4.4. Matriz densidad y sus representaciones

- 10.5. Información clásica y cuántica
  - 10.5.1. Introducción a la probabilidad
  - 10.5.2. Información
  - 10.5.3. Entropía de Shannon e información mutua
  - 10.5.4. Comunicación
    - 10.5.4.1. El canal binario simétrico
    - 10.5.4.2. Capacidad de un canal
  - 10.5.5. Teoremas de Shannon
  - 10.5.6. Diferencia entre información clásica y cuántica
  - 10.5.7. Entropía de von Neumann
  - 10.5.8. Teorema de Schumacher
  - 10.5.9. Información de Holevo
  - 10.5.10. Información accesible y límite de Holevo
- 10.6. Computación cuántica
  - 10.6.1. Máquinas de Turing
  - 10.6.2. Circuitos y clasificación de la complejidad
  - 10.6.3. El ordenador cuántico
  - 10.6.4. Puertas lógicas cuánticas
  - 10.6.5. Algoritmos de Deutsch-Josza y Simon
  - 10.6.6. Búsqueda no estructurada: algoritmo de Grover
  - 10.6.7. Método de encriptación RSA
  - 10.6.8. Factorización: algoritmo de Shor
- 10.7. Teoría semiclásica de la interacción luz-materia
  - 10.7.1. El átomo de dos niveles
  - 10.7.2. El desdoblamiento AC-Stark
  - 10.7.3. Las oscilaciones de Rabi
  - 10.7.4. La fuerza dipolar de la luz
- 10.8. Teoría cuántica de la interacción luz-materia
  - 10.8.1. Estados del campo electromagnético cuántico
  - 10.8.2. El modelo de Jaynes-Cummings
  - 10.8.3. El problema de la decoherencia
  - 10.8.4. Tratamiento de Weisskopf-Wigner de la emisión espontánea
- 10.9. Comunicación cuántica
  - 10.9.1 Criptografía cuántica: protocolos BB84 y Ekert91
  - 10.9.2. Desigualdades de Bell
  - 10.9.3. Generación de fotones individuales
  - 10.9.4. Propagación de fotones individuales
  - 10.9.5. Detección de fotones individuales
- 10.10. Computación y simulación cuántica
  - 10.10.1. Átomos neutros en trampas dipolares
  - 10.10.2. Electrodinámica cuántica de cavidades
  - 10.10.3. Iones en trampas de Paul
  - 10.10.4. Cubits superconductores

“

*Un programa 100% online que te permitirá adentrarte en la astrofísica y la cosmología a través del contenido multimedia más innovador de la enseñanza académica”*

06

# Metodología

Este programa de capacitación ofrece una forma diferente de aprender. Nuestra metodología se desarrolla a través de un modo de aprendizaje de forma cíclica: ***el Relearning***.

Este sistema de enseñanza es utilizado, por ejemplo, en las facultades de medicina más prestigiosas del mundo y se ha considerado uno de los más eficaces por publicaciones de gran relevancia como el ***New England Journal of Medicine***.



66

Descubre el *Relearning*, un sistema que abandona el aprendizaje lineal convencional para llevarte a través de sistemas cílicos de enseñanza: una forma de aprender que ha demostrado su enorme eficacia, especialmente en las materias que requieren memorización”

## Estudio de Caso para contextualizar todo el contenido

Nuestro programa ofrece un método revolucionario de desarrollo de habilidades y conocimientos. Nuestro objetivo es afianzar competencias en un contexto cambiante, competitivo y de alta exigencia.

“

*Con TECH podrás experimentar una forma de aprender que está moviendo los cimientos de las universidades tradicionales de todo el mundo”*



Accederás a un sistema de aprendizaje basado en la reiteración, con una enseñanza natural y progresiva a lo largo de todo el temario.



*El alumno aprenderá, mediante actividades colaborativas y casos reales, la resolución de situaciones complejas en entornos empresariales reales.*

### **Un método de aprendizaje innovador y diferente**

El presente programa de TECH es una enseñanza intensiva, creada desde 0, que propone los retos y decisiones más exigentes en este campo, ya sea en el ámbito nacional o internacional. Gracias a esta metodología se impulsa el crecimiento personal y profesional, dando un paso decisivo para conseguir el éxito. El método del caso, técnica que sienta las bases de este contenido, garantiza que se sigue la realidad económica, social y profesional más vigente.

“

*Nuestro programa te prepara para afrontar nuevos retos en entornos inciertos y lograr el éxito en tu carrera”*

El método del caso ha sido el sistema de aprendizaje más utilizado por las mejores facultades del mundo. Desarrollado en 1912 para que los estudiantes de Derecho no solo aprendiesen las leyes a base de contenidos teóricos, el método del caso consistió en presentarles situaciones complejas reales para que tomasen decisiones y emitiesen juicios de valor fundamentados sobre cómo resolverlas. En 1924 se estableció como método estándar de enseñanza en Harvard.

Ante una determinada situación, ¿qué debería hacer un profesional? Esta es la pregunta a la que te enfrentamos en el método del caso, un método de aprendizaje orientado a la acción.

A lo largo del programa, los estudiantes se enfrentarán a múltiples casos reales. Deberán integrar todos sus conocimientos, investigar, argumentar y defender sus ideas y decisiones.

## Relearning Methodology

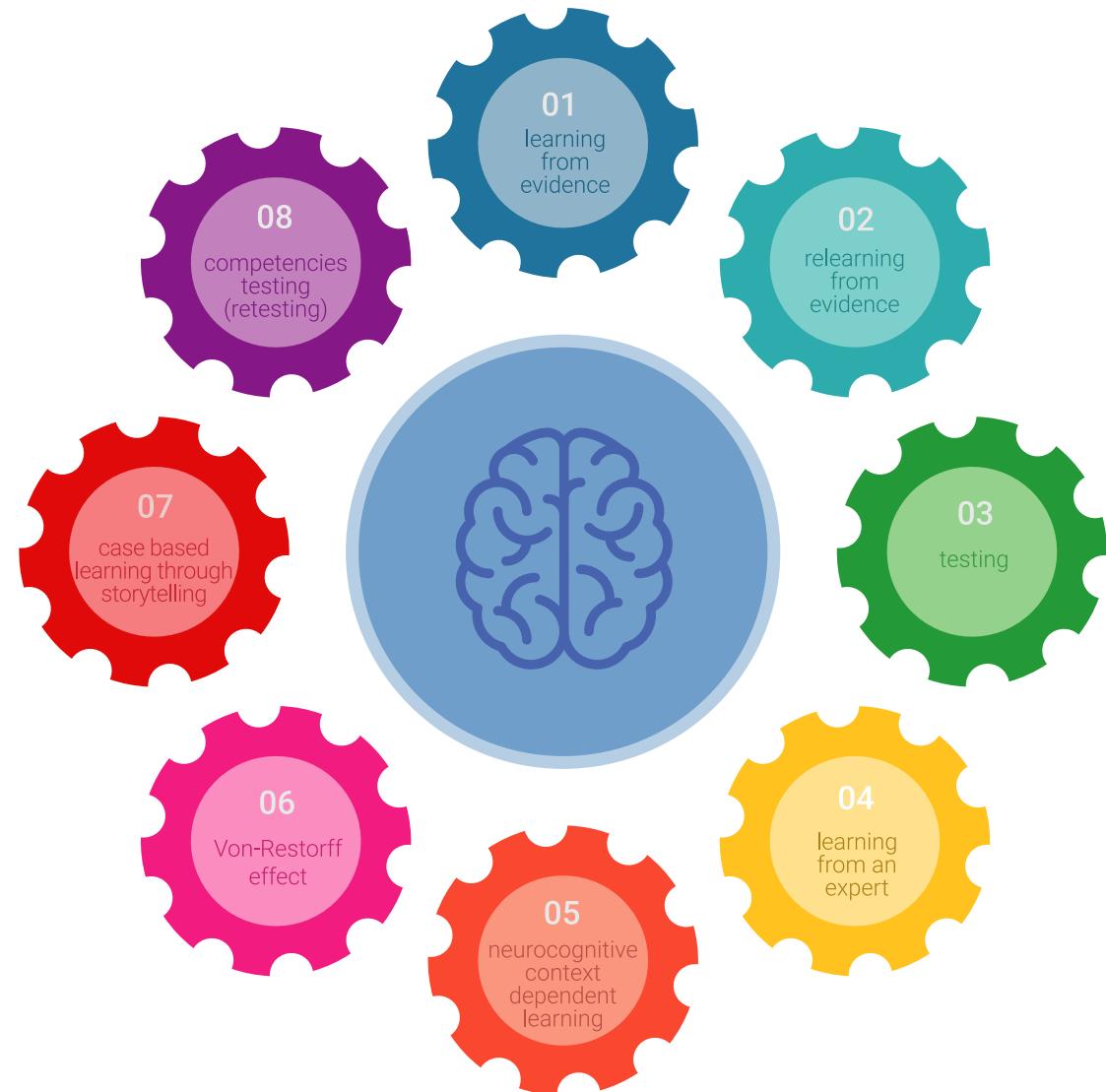
TECH aúna de forma eficaz la metodología del Estudio de Caso con un sistema de aprendizaje 100% online basado en la reiteración, que combina 8 elementos didácticos diferentes en cada lección.

Potenciamos el Estudio de Caso con el mejor método de enseñanza 100% online: el Relearning.

*En 2019 obtuvimos los mejores resultados de aprendizaje de todas las universidades online en español en el mundo.*

En TECH se aprende con una metodología vanguardista concebida para capacitar a los directivos del futuro. Este método, a la vanguardia pedagógica mundial, se denomina Relearning.

Nuestra universidad es la única en habla hispana licenciada para emplear este exitoso método. En 2019, conseguimos mejorar los niveles de satisfacción global de nuestros alumnos (calidad docente, calidad de los materiales, estructura del curso, objetivos...) con respecto a los indicadores de la mejor universidad online en español.





En nuestro programa, el aprendizaje no es un proceso lineal, sino que sucede en espiral (aprender, desaprender, olvidar y reaprender). Por eso, se combinan cada uno de estos elementos de forma concéntrica. Con esta metodología se han capacitado más de 650.000 graduados universitarios con un éxito sin precedentes en ámbitos tan distintos como la bioquímica, la genética, la cirugía, el derecho internacional, las habilidades directivas, las ciencias del deporte, la filosofía, el derecho, la ingeniería, el periodismo, la historia o los mercados e instrumentos financieros. Todo ello en un entorno de alta exigencia, con un alumnado universitario de un perfil socioeconómico alto y una media de edad de 43,5 años.

*El Relearning te permitirá aprender con menos esfuerzo y más rendimiento, implicándote más en tu capacitación, desarrollando el espíritu crítico, la defensa de argumentos y el contraste de opiniones: una ecuación directa al éxito.*

A partir de la última evidencia científica en el ámbito de la neurociencia, no solo sabemos organizar la información, las ideas, las imágenes y los recuerdos, sino que sabemos que el lugar y el contexto donde hemos aprendido algo es fundamental para que seamos capaces de recordarlo y almacenarlo en el hipocampo, para retenerlo en nuestra memoria a largo plazo.

De esta manera, y en lo que se denomina Neurocognitive context-dependent e-learning, los diferentes elementos de nuestro programa están conectados con el contexto donde el participante desarrolla su práctica profesional.

Este programa ofrece los mejores materiales educativos, preparados a conciencia para los profesionales:



#### **Material de estudio**

Todos los contenidos didácticos son creados por los especialistas que van a impartir el curso, específicamente para él, de manera que el desarrollo didáctico sea realmente específico y concreto.

Estos contenidos son aplicados después al formato audiovisual, para crear el método de trabajo online de TECH. Todo ello, con las técnicas más novedosas que ofrecen piezas de gran calidad en todos y cada uno los materiales que se ponen a disposición del alumno.



#### **Clases magistrales**

Existe evidencia científica sobre la utilidad de la observación de terceros expertos.

El denominado Learning from an Expert afianza el conocimiento y el recuerdo, y genera seguridad en las futuras decisiones difíciles.



#### **Prácticas de habilidades y competencias**

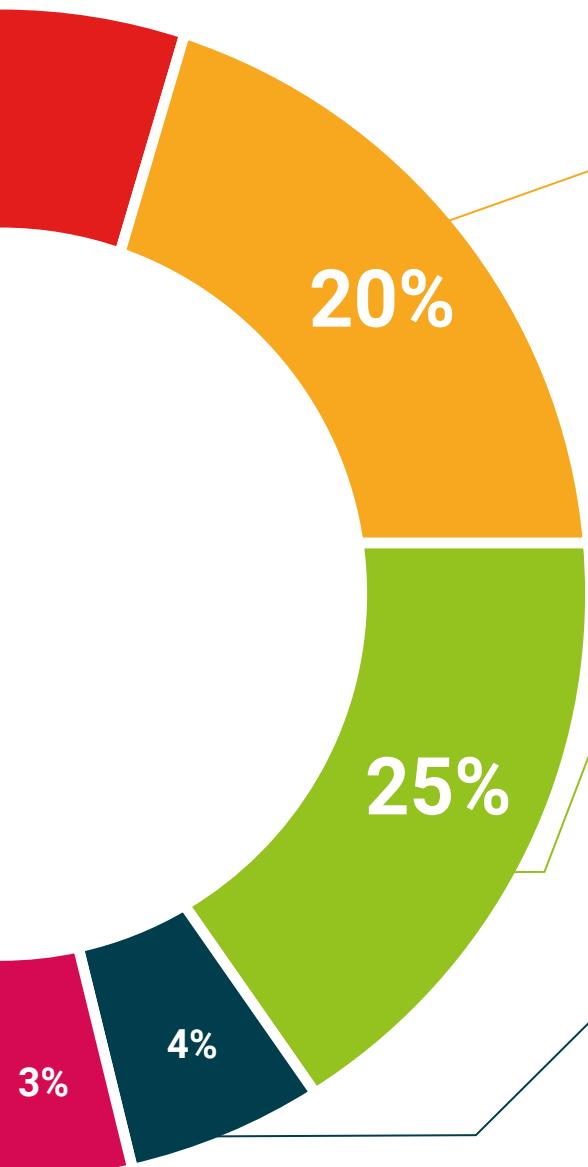
Realizarán actividades de desarrollo de competencias y habilidades específicas en cada área temática. Prácticas y dinámicas para adquirir y desarrollar las destrezas y habilidades que un especialista precisa desarrollar en el marco de la globalización que vivimos.



#### **Lecturas complementarias**

Artículos recientes, documentos de consenso y guías internacionales, entre otros. En la biblioteca virtual de TECH el estudiante tendrá acceso a todo lo que necesita para completar su capacitación.





**Case studies**  
Completarán una selección de los mejores casos de estudio elegidos expresamente para esta titulación. Casos presentados, analizados y tutorizados por los mejores especialistas del panorama internacional.



**Resúmenes interactivos**  
El equipo de TECH presenta los contenidos de manera atractiva y dinámica en píldoras multimedia que incluyen audios, vídeos, imágenes, esquemas y mapas conceptuales con el fin de afianzar el conocimiento.



Este exclusivo sistema educativo para la presentación de contenidos multimedia fue premiado por Microsoft como "Caso de éxito en Europa".

#### Testing & Retesting

Se evalúan y reevalúan periódicamente los conocimientos del alumno a lo largo del programa, mediante actividades y ejercicios evaluativos y autoevaluativos para que, de esta manera, el estudiante compruebe cómo va consiguiendo sus metas.



07

# Titulación

El Máster Título Propio en Física Cuántica garantiza, además de la capacitación más rigurosa y actualizada, el acceso a dos diplomas de Máster Propio, uno expedido por TECH Global University y otro expedido por la Universidad Privada Peruano Alemana.



66

*Supera con éxito este programa y recibe tu  
titulación universitaria sin desplazamientos  
ni farragosos trámites”*

El programa del **Máster Título Propio en Física Cuántica** es el más completo del panorama académico actual. A su egreso, el estudiante recibirá un diploma universitario emitido por TECH Global University, y otro por la Universidad Privada Peruano Alemana.

Estos títulos de formación permanente y actualización profesional de TECH Global University y Universidad Privada Peruano Alemana garantizan la adquisición de competencias en el área de conocimiento, otorgando un alto valor curricular al estudiante que supere las evaluaciones y acredite el programa tras cursarlo en su totalidad.

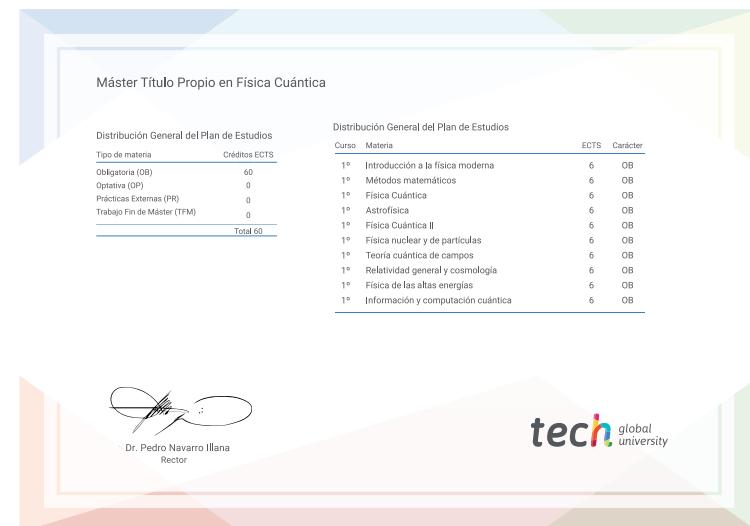
Este doble reconocimiento, de dos destacadas instituciones universitarias, suponen una doble recompensa a una formación integral y de calidad, asegurando que el estudiante obtenga una certificación reconocida tanto a nivel nacional como internacional. Este mérito académico le posicionará como un profesional altamente capacitado y preparado para enfrentar los retos y demandas en su área profesional.

**Título: Máster Título Propio en Física Cuántica**

**Modalidad: online**

**Duración: 12 meses**

**Acreditación: 60 ECTS**



\*Apostilla de La Haya. En caso de que el alumno solicite que su título en papel reciba la Apostilla de La Haya, TECH Universidad Privada Peruano Alemana realizará las gestiones oportunas para su obtención, con un coste adicional.



## Máster Título Propio Física Cuántica

- » Modalidad: online
- » Duración: 12 meses
- » Titulación: TECH Universidad Privada Peruano Alemana
- » Acreditación: 60 ECTS
- » Horario: a tu ritmo
- » Exámenes: online

# Máster Título Propio

## Física Cuántica