

# Temas de proyectos y ampliación de Física y Química

J. F. G. H.

August 14, 2023

## Abstract

Temas de ampliación e investigación diversos en Física, Matemáticas, Química y Filosofía.

## 1 Temas especiales de Física

### 1.1 Matemáticas aplicadas

- Producto escalar y vectorial en  $D = 3$  y en  $D > 3$ . Generalizaciones.
- Multivectores, polivectores y álgebras de Clifford. Otros números. Twistores, supertwistores e hipertwistores. Cálculo tensorial y de formas (diferenciales). Multiformas. Determinantes, hiperdeterminantes y otros invariantes.
- Cálculo de Cartan. Cálculo exterior en variedades. Análisis variacional. Cálculo funcional. Jets. Aplicaciones en la Física.
- Probabilidad y distribuciones de probabilidad en las Ciencias Experimentales. Métodos estadísticos. Inferencia estadística. Test de hipótesis. Métodos bayesianos en la Ciencia y diferencias con el enfoque frecuentista.

- Simetrías y su rol en la Física-Matemática moderna. Los teoremas de Emmy Nöether. Aplicaciones.
- Simetrías: clasificación y aplicaciones. Simetrías espacio-tiempo, internas y asintóticas. Supersimetría e hipersimetría. Simetrías conformes.
- El problema de Kepler y sus generalizaciones. Aplicaciones al estudio del movimiento de sistemas físicos.
- Derivadas del orden superior al segundo de la posición. Jerk y derivadas de orden superior. Absement y su relación con la teoría de señales. Otras generalizaciones del cálculo. Diferenciación fraccional e integrodiferencial. Aplicaciones.
- Trigonometría hiperbólica. Aplicaciones. Trigonometría elíptica. Posibles aplicaciones.
- Funciones especiales en Física y Matemáticas. Funciones hipergeométricas. Funciones de Lauricella. La función de Lambert.
- Función beta de Euler y generalizaciones. Algunas aplicaciones.
- Función zeta, polizeta y polilogaritmos. Polilogaritmos elípticos. Aplicaciones.
- Teoría del caos determinista.
- Ecuaciones de Yang-Baxter y aplicaciones.
- Estudio matemático del movimiento de peonzas simétricas y asimétricas. El trabajo de Sofía Kovalenskaya.
- Teorías de unificación de la Física. Los teoremas de Gödel.
- Dimensiones en Matemáticas y Física. Dimensiones negativas. Fractales y multifractales.

## 1.2 Física elemental avanzada

- Análisis dimensional en Física e Ingeniería. Unidades y sistemas de unidades fundamentales.
- Escalares, vectores, tensores. Espinores, biespinores, twistores. Hipertwistores, supertwistores e hipersupertwistores. Pseudoescalares y pseudotensores. Multivectores y polivectores. Cálculo de formas diferenciales y tensorial. Álgebra geométrica y álgebras de Clifford. Holovectores/omnivectores. Formas y multiformas. Hipermatrices y matrices. Grafos e hipergrafos.
- Teorías de gravedad a través del tiempo. Galileo y Newton. Gravitación de Le Sage. Las aportaciones de Boscovich. Gravitación y problema de los N-cuerpos en el s. XIX. Teoría de Nördstrom. Relatividad general. Gravitación cuántica en el s.XX. Supercuerdas y Teoría M. La gravitación entrópica emergente de Verlinde. El problema de la gravitación cuántica.
- MOND y MOG. Materia y energía oscuras. Modelos.
- Teorías multitemporales y con tiempo no escalar.
- Leyes de Kepler en varias dimensiones. Variantes de la tercera ley de Kepler en teorías no newtonianas. Vector de Laplace-Runge-Lenz y generalizaciones.
- Los puntos de Lagrange y sus usos en Astronáutica y Física del Espacio.
- El problema de los 3 cuerpos.
- Ondas no lineales: solitones. Ecuaciones de onda no lineales en diversas áreas de la Física y la Química (KdV, Schrödinger no lineal, shallow water equation, Lax pairs, ...)
- Ondas gravitacionales.

- Teorema de Gauss multidimensional. Leyes multidimensionales del campo eléctrico, gravitacional y magnético. Aplicaciones sencillas.
- La evolución de la Astronomía desde la Antigüedad hasta la actualidad.
- Exoplanetas: métodos de detección. State-of-art en la búsqueda de ETI. SETI y METI. Escala de Kardashev y variaciones.
- Los movimientos de la Tierra: de la rotación y la traslación a la precesión y nutación. Estudio matemático.
- Leyes de la gravitación, electricidad y magnetismo en diferentes dimensiones. Teorema de Gauss multidimensional. Campos en dimensiones múltiples. Teorema de Ampère multidimensional. Otros métodos para detectar dimensiones adicionales espaciales. Existencia de átomos y Tabla Periódica en  $D \neq 3$ .
- Acústica y física del sonido. Ultrasonidos. Sonoluminescencia.
- El último elemento: historia y evolución de la Tabla Periódica. Límites a la fabricación de átomos y núcleos. Estado actual de estas investigaciones.
- Telescopios espaciales. Del IRAS al Hubble y el JWST. Futuros telescopios espaciales.
- Movimiento de cohetes en Física Clásica y Relativista. Análisis de los requerimientos de energía y efectos de la relatividad. Viaje interestelar e intergaláctico. Posibles probables y posibles improbables. Agujeros de gusano. El motor (métrica matemática) de Alcubierre.
- Teorías de gravitación cuántica. Supercuerdas y gravedad de bucles. Otras teorías.
- Física multitemporal.

- Concepto de velocidad de fase, velocidad de grupo y velocidad de propagación de onda. Metamateriales e invisibilidad.
- Más allá de los cristales: cuasicristales y policristales. Cristales de tiempo. Realizaciones y aplicaciones.
- Superconductividad. Estado actual de las investigaciones. Grafeno y ángulo mágico. Superconductividad a temperatura ambiente y alta presión. Superconductores topológicos.
- Logaritmos y escalas logarítmicas. Decibelios y belios. El Jansky. Astronomía y escalas logarítmicas.
- Aislantes topológicos y superconductores topológicos. Clasificación de materiales topológicos.
- El espín. Representación de Majorana y otras representaciones. Spintrónica.
- Monopolos magnéticos. Teoría y experimentos. Generalizaciones. Diones. Gravidiones y carga NUT.
- La teoría de la relatividad especial y general: historia y evolución. Generalizaciones no demostradas.
- Grupos cinemáticos. Relatividad de de Sitter. Otras teorías no estándar de la relatividad.
- Inducción electromagnética y aplicaciones modernas. Otros efectos del electromagnetismo. Efectos de Faraday y de Kerr.
- Mem-devices. Memristores, memcapacitors y meminductores. Sistemas memristivos, memcapacitativos y meminductivos. La Tabla Periódica de los circuitos no lineales. Análogos mecánicos de la teoría.
- El efecto Doppler y sus aplicaciones. Efecto Doppler relativista. Efecto Doppler cosmológico.

- Concepciones del vacío a lo largo de la historia: de la Filosofía a la Ciencia contemporánea.
- El Modelo Estándar y el campo de Higgs. Estatus actual de la Física de Altas Energías.
- Teoría del cuerpo negro en  $D$  arbitraria. Aplicaciones.
- El plasma y otros estados de la materia. Condensados de Bose-Einstein. Nuclear pasta. Estados exóticos de la materia.
- Estructura atómica: del modelo de Bohr a la Física cuántica. Efecto Zeeman y Zeeman anómalo. Aplicaciones. Efecto Stark.
- Historia y teoría del efecto fotoeléctrico.
- Átomo gravitacional y átomos exóticos. Relevancia y aplicaciones.
- Estudios acerca de la desintegración del protón.
- Reactores nucleares. Teoría de la fisión y fusión. La fusión fría.  $UF_6$ . El futuro de la energía nuclear de fisión y fusión.
- Efectos Kerr y Faraday.
- Oscilaciones acústicas bariónicas.
- Energía y Física. Formulaciones lagrangiana y hamiltoniana. Dinámica de Nambu y generalizaciones.
- Energía en ondas electromagnéticas y gravitacionales. El vector de Poynting. Densidad de energía. Tensor energía-momento-esfuerzo. Energía en Relatividad General.
- Seguridad nuclear. Dosis y exposición. Tipos de radiación. Espectro electromagnético. Radiaciones ionizantes y no ionizantes. WiFi y LiFi.

- Termodinámica y Física elemental de Agujeros Negros. Radiación Hawking. Efecto Unruh. El problema de la información de los agujeros negros.
- Partículas fundamentales del Modelo Estándar y resonancias. Búsquedas de partículas más allá del Modelo Estándar.
- Química de quarks y estados multiquarks.
- Límites del modelo estándar. Metaestabilidad del vacío.
- Caos cuántico.
- Modelo  $\Lambda$ CDM de la Cosmología. Otros modelos cosmológicos. Inflación. Multiverso. Niveles de multiverso según Max Tegmark.
- Cosmología cuántica.
- Leyes de la Física y la teoría de la información aplicadas a la computación. Limitaciones físicas a los ordenadores clásicos y cuánticos.
- El problema del tiempo.
- Teorías de formación del Universo y el Multiverso.
- Los agujeros negros: tipos y clasificación matemática y astrofísica. Ejemplos astrofísicos. Evidencias de su existencia.
- Espacio-tiempo cuánticos. Teorías.
- El vector de Laplace-Runge-Lenz.
- El nuevo SI.
- Medida de la constante de gravitación universal. Número de Zöllner. Teorías sobre el origen y variación de las constantes fundamentales.

- Fuerzas eléctricas y magnéticas en el cosmos.
- Efectos no perturbativos en teoría de campos. Efecto Schwinger.
- Dilución dimensional de las constantes fundamentales.
- Análisis dimensional en Física. Teorema II de Buckingham. Aplicaciones.
- Escalas del Universo: longitud, tiempo, velocidad, masa, energía, densidad, temperatura, . . . Límites.
- Diferencias entre los campos clásicos y cuánticos.
- Jaula de Faraday.
- Aplicaciones tecnológicas del magnetismo. Magnetismo cósmico. Magnetismo terrestre.
- Ley de Ampère. Historia y evolución.
- Flujo magnético. Relevancia. Efecto Bohm-Aharonov.
- Ecuaciones de Maxwell. Formulación matemática a través de la historia. Importancia.
- Electromagnetismo en medios materiales.
- Electromagnetismo no lineal.
- Superconductividad. Teoría BCS. Controversia LK99. Elementos y compuestos superconductores.
- Generalizaciones de las ecuaciones de Maxwell y teorías Yang-Mills.
- Electromagnetismo y relatividad. Conexiones.
- Tecnología y pobreza electromagnética. Correlación electricidad y pobreza de un país.

- Fenómenos ondulatorios no estándar: no linealidad, dispersión y reverberación . Polarización. Atenuación. Resonancia. Fenómenos de coherencia.
- Fenómenos no perturbativos. Creación de pares en campos fuertes.
- Semejanzas y diferencias de los campos clásicos.  $E, B, g$ .
- Medida de la constante gravitacional: problemas, métodos. El principio de equivalencia y el principio de Mach en sus diferentes formulaciones.
- Dualidades.
- Movimiento de cuerpos celestes.
- Láser y Maser. Graser.
- Comparación de los tipos de ondas. Espectro sonoro, electromagnético y gravitacional. Espectro térmico.
- Decibelios y aplicaciones diversas de escalas logarítmicas en Astronomía o Ingeniería. El Jansky.
- Refracción y difracción en cristales. Cristales no lineales y su relevancia tecnológica actual. Láser UV.
- Electrónica vs. fotónica. Tecnologías cuánticas del futuro inmediato.
- Instrumentos de visión a lo largo de la Historia.
- Física médica actual.
- Radiación Hawking: historia de su origen y relevancia.
- El éter y la relatividad.
- Limitaciones de las concepciones clásicas de la Mecánica.

- Relatividad especial y general en la vida cotidiana. Pruebas y evidencias empíricas de la Relatividad en el s.XXI.
- El GPS.
- Propulsión espacial.
- Más allá de la Relatividad Especial y General estándares.
- Aplicaciones de la Física Cuántica.
- Computación cuántica y otras aplicaciones cuánticas.
- Entrelazamiento cuántico. Filosofía de la Mecánica Cuántica. Problema de su interpretación.
- Contextualidad y no contextualidad en Mecánica Cuántica.
- El bosón de Higgs.
- Cosmología y astropartículas. Ley de Hubble  $v = HD$  y generalizaciones.
- TOE y GUT: inevitabilidad de la incompleción actual de los 2 pilares de la Física.
- La teoría del Big Bang. Postulados y evidencias.
- Radioisótopos y núclidos. Teoría y estatus actual de las investigaciones en Física Nuclear. Física de reactores nucleares de fisión y materiales fisibles ( $UF_6$ ). Reactores de fusión (ITER y Tokamaks). Futuro de la fusión.
- Las aportaciones de A. Einstein a la Física y la vida cotidiana.
- Detectores de ondas.
- Colisionadores de partículas. Tipos y teoría.
- Detectores de humos. Fotodetectores. Otros detectores de partículas.

- Calorimetría y aplicaciones.
- Física de la atmósfera y las nubes.
- Física y Biofísica.
- Materia y energía oscuras.
- Radioterapia.
- Superfluidos.
- Heterodino y superheterodino.
- Efectos fotoeléctrico y Compton. Efecto Compton inverso y creación de pares. Aplicaciones.
- Modelos cosmológicos no estándares. CCC de Penrose. Universo ekpirótico. Otros. El destino del Universo.
- Efectos relativistas en SR y GR. El GPS. Experimentos probando la relatividad. Observaciones astrofísicas y cosmológicas. Tests clásicos de la GR.
- Lentes gravitacionales. Ecuación de la lente de Einstein. Cruz de Einstein.

### 1.3 Química

- Estequiometría y compuestos no estequiométricos. Daltónidos vs. bertólidos. Aplicaciones.
- Chemical graph theory.
- Química de quarks.
- Química del ozono. Ozónidos. Otros compuestos del oxígeno: superóxidos y subóxidos.

- Química del xenón y otros gases nobles. Compuestos de los gases nobles y sus aplicaciones.
- Modelo de Bohr y átomos exóticos. De los átomos muónicos a los superátomos.
- Teoría de Bohr-Sommerfeld y el origen de la Física Cuántica. El problema de la interpretación de la Física Cuántica.
- Entrelazamiento cuántico, superposición y otros fenómenos cuánticos asombrosos. Computación cuántica.
- Átomos gravitacionales. Materia y energía oscura.
- Teorías del enlace químico. El enlace vibracional.
- Complejos de Van der Waals.
- Química de coordinación.
- Cristales no lineales. KBBF y similares.
- Fuerzas de Van der Waals e intermoleculares. Potenciales residuales y la estabilidad de la materia.
- Química de los explosivos y bombas nucleares.
- Astroquímica y cinética química.
- La entropía y las reacciones químicas. Las aportaciones de Ilya Prigogine.
- Teorías de Fermi sobre el equilibrio químico.
- Matrices y equilibrios químicos. Tiempos de semirreacción y otros modelos de especial interés en Biología.
- Equilibrio multiespecies. Concepto de diversidad en química matemática.

- Teorías del estado de transición. Aplicaciones.
- Superácidos. Teorías ácido-base a través de la historia. Superbases. Ácido perxénico y otros.
- El agua y sus propiedades. Cationes Eigel y Zundel. Estado actual de las propiedades del agua y el hielo. Fases.
- Reacciones REDOX y aplicaciones.
- Pilas y baterías. Aplicaciones en la industria de los móviles y los automóviles eléctricos. Pila de hidrógeno. Superóxido de sodio. Presente y futuro. Bateras de estado slido.
- Teoría de la enumeración química basada en la teoría de Polya.
- Compuestos organometálicos y aplicaciones.
- Isomería y polímeros. Compuestos y polímeros en la vida cotidiana. Materiales hidrofóbicos, ignífugos,...
- Mecanismos de reacción: síntesis moderna. Reacciones electrófilas y nucleófilas.
- Compuestos de intercalación. Aplicaciones. Nanotecnología y nuevos materiales. Frontera de la Química y la materia condensada. Compuestos 3D.
- Elementos y compuestos superconductores.
- Fullerenos y otros compuestos tipo nanotubos de carbono. El Vantablack y otras aplicaciones en Ciencia y Medicina. Grafeno, grafino y compuestos relacionados. Estaneno y similares. Otros compuestos curiosos: spectralon, ALON (aluminio transparente), espinelas,...

## 1.4 Matemáticas

- Números, formas diferenciales, tensores, polivectores y otras estructuras. Teoría de grupos y supergrupos.
- Objetos geométricos de dimensiones múltiples. Politopos y generalizaciones. Hipersferas e hiperelipsoides. Esferas exóticas. Retículos (lattices). Objetos geométricos excepcionales.
- Axiomas de la Geometría y los números. Números p-ádicos. Adeles e ideles. Posibles aplicaciones en la Física y la Ciencia. Ultrametricidad.
- Tratamiento matemático de datos físicos, químicos o experimentales.
- Álgebras de Grassmann y Clifford. Aplicaciones.
- Estructuras algebraicas modernas. Geometría algebraica. Grothendieck: esquemas.
- Matrices e hipermatrices. Matroides y otras generalizaciones.
- Teoría de grafos e hipergrafos. Aplicaciones. Matrices y grafos. Digrafos. Multidigrafos.
- Derivación y cálculo infinitesimal. Otras definiciones de derivadas. Derivadas de orden superior y fraccional o complejo. Otras nociones de cálculo. Cálculo funcional y variacional. Jets. Campos. Continuidad y derivabilidad de funciones. La integral de camino mecanocuántica.
- Funciones (hiper)elípticas e integrales. Funciones hipergeométricas. Funciones zeta y polizeta. Polilogaritmos. Polilogaritmos elípticos.
- Cálculo de funciones de variable compleja en una y varias variables.

- Probabilidad y estadística. Aplicaciones. Combinaciones, permutaciones, y variaciones.
- Métodos bayesianos y de probabilidad condicionada.
- Cálculo de Cartan. Vielbein  $e = e^a$  y 1-forma de conexión  $\omega$ . Ecuaciones fundamentales:

$$de + \omega \wedge e = T \quad (1)$$

$$d\omega + \omega \wedge \omega = R \quad (2)$$

$$de^a + \omega_b^a \wedge e^b = T \quad (3)$$

$$d\omega_b^a + \omega_c^a \wedge \omega_b^c = R_b^a \quad (4)$$

Diferenciación covariante via  $D = d + \omega \wedge$ ,  $D_b^a = \delta_b^a d + \omega_b^a$ .

- Lógica matemática. Tipos de lógicas. Lógicas clásicas. Lógicas multivaluadas.
- Matemática tropical (ártica). Aplicaciones.
- Ultrametricidad y números p-ádicos. Adeles e ideles.
- Problemas del Milenio y otros programas sin resolver en matemáticas.
- La hipótesis de Riemann.
- Programa Langlands y programa Erlangen.

## 1.5 Filosofía

La filosofía ( $\varphi\lambda\sigma\varphi\alpha$ ) es el amor por el conocimiento. Se distingue por su forma crítica y sistemática de abordar los problemas a su uso del argumento racional. Más generalmente, podemos entender la Filosofía como saber referido a varios conceptos básicos del entendimiento y el conjunto de creencias y actitudes o comportamientos de individuos y grupos colectivos de individuos.

La Filosofía estudia los problemas fundamentales y generales relativos a la realidad, la existencia, el conocimiento, los valores y la ética, la razón y la lógica, la mente y el lenguaje.

Generalmente, se divide a la Filosofía en diferentes ramas

1. Epistemología. Estudio de la naturaleza y alcance del conocimiento, las relaciones de verdad, las creencias y las teorías de la justificación o pruebas.
2. Lógica. Estudio de los principios del razonamiento (no) humano y (no) matemático.
3. Metafísica. Estudio de las propiedades más generales de la realidad. Se puede considerar dividida en Cosmología (estudio del todo), y Ontología (estudio del ser). La Metafísica se ocupa de estudiar la Naturaleza última del tiempo, el espacio, la existencia, la mente y el cuerpo, los objetos y las partes, los sucesos y procesos, la causalidad y las relaciones del ser con el Cosmos.
4. Ética o Filosofía moral. Trata la manera de vivir y si se puede responder a la pregunta del significado de la vida.
5. Otras ramas de la Filosofía menos comunes: filosofía del lenguaje, de la mente, de la jurisprudencia, de la religión, metafilosofía.
6. Filosofía de la Ciencia.

Otro posible orden cronofilosófica:

1. Presocráticos. Comparación con filosofía china. Taoísmo y sintoísmo japonés. Los 9 sentidos. Hinduismo. Kanada.
2. Aristóteles, Platón y Sócrates. Teoría de las ideas y Antropología.
3. San Agustín y Santo Tomás de Aquino.
4. Humanismo y Renacimiento.
5. Hume: conocimiento y ética.

6. Rousseau y la Ilustración. Hombre y sociedad.
7. Comte y el Positivismo.
8. Hegel y Dialéctica.
9. Marx. Alienación e ideología.
10. Husser y la fenomenología.
11. Ortega y Gasset: raciovitalismo.
12. Sartre y existencialismo.
13. Wittgenstein: filosofía analítica.
14. Nietzsche y la crisis occidental.

Otra lista...

- Presocráticos: Anaximandro, Anaxágoras, Anaxímenes, Zenón, Parménides, . . . Filosofía oriental (hinduismo) y japonesa/china. Otras civilizaciones con concepciones avanzadas: Babilonia, Egipto, África, los mayas, Persia, Asia, . . .
- China y Japón. Taoísmo y sintoísmo. Los 9 sentidos.
- Grecia y Roma. Desde Platón y Aristóteles al pensamiento latino y medieval.
- El pensamiento escolástico.
- Descartes.
- Spinoza.
- Leibniz.
- Wolff.

- Berkeley, Lock y Hume. Francis Bacon.
- Humanismo y Renacimiento.
- El pensamiento ilustrado.
- Kant, Hobbes, Marx, Pierce y Kerkegaard.
- Nietzsche. Jaines y W.K. Clifford (Ethics of Belief). Hegel.
- Círculo de Viena. Popper. Boscovitch. Russell.
- Feyerabend.
- Filosofía del lenguaje, la ley (jurisprudencia), la mente, religión y metafísica.
- Filosofía de la Ciencia a través de la Historia.
- Filosofía contemporánea.
- Modernismo, postmodernismo y oscurantismo.

## 2 Personajes de la Ciencia

Física: Curie, Galileo, Arquímedes, Euler, Leibniz, Gauss, Lagrange, Hamilton, W. K. Clifford, Planck, Kelvin, Bohr, Rutherford, Einstein, Fermi, Majorana, Dirac, Born, Klein, Minkovski, Schrödinger, Heisenberg, Feynman, Landau, Bronstein, Gell-Mann, Dyson, Eddington, Pauli, Yukawa, Faraday, S. Chandrasekhar, Bose, Maxwell, Lenz, Higgs, Schwinger, 't Hooft, Hawking, Penrose, Witten, Thomson, Dalton, ...

Química: Curie, Dalton, Thomson, Rutherford, Faraday, Bohr, Born, Dirac, Heisenberg, Schrödinger, Feynman, ...

Matemáticas: Arquímedes, Brahmagupta, Euler, Lagrange, Hamilton, Clifford, Graves, Cayley, Dickson, Lobachevski, Minkovski, Bolyai, Riemann, Gauss, Lebesgue, A. Wiles, Pitágoras, Grothendieck, Ruffini,

Levi-Civita, Cartan, Bourbaki, Klein, Perelman, ...

### 3 Libros útiles desconocidos

Fermi estudió con el único libro *Elementorum physicae mathematicae* (Andrea Caraffa) y otros artículos.

Saberes arcanos o poco usuales:

- La polimatía, del griego *πολυμαθια* (aprender) y de *μανθανω* saber y *πολυ* (mucho) es la sabiduría que abarca conocimientos sobre campos diversos de la ciencia, arte o las humanidades. Un polímata (en griego: *πολυμαθης*) es la persona que domina diversos saberes.
- Filómata. Aquella persona que ama el conocimiento.

### 4 Laboratorio, prácticas y applets

#### 4.1 Interacción Física y Matemáticas

Keyword: Fismática (Física más Matemáticas). Visualización de magnitudes abstractas. Modelización matemática. Simetrías y movimientos. Invariancias en Física. Leyes de conservación. Teoremas de Noether y más allá.

#### 4.2 Derivadas e integrales

Tipos de derivadas e integrales.

- 4.3 Simulaciones de leyes de Kepler
- 4.4 Medida de  $g$  y de la constante gravitacional con un péndulo
- 4.5 Exoplanetas. Confirmación de las leyes de Kepler
- 4.6 Práctica con la calculadora científica
- 4.7 Visualizaciones de campos con applets
- 4.8 Campos magnéticos
- 4.9 Electromagnetismo y inducción electromagnética
- 4.10 Murales con ecuaciones de Maxwell
- 4.11 Ecuaciones de Maxwell generalizadas. Términos axiónico y monopolo
- 4.12 Superconductividad. Teoría BCS. Modelo de Hubbard. Aislantes y superconductores topológicos
- 4.13 Ondas en cuerdas y tubos
- 4.14 Applets en el teléfono
- 4.15 Medidas de db y sonido en el teléfono
- 4.16 Óptica y prismas ópticos
- 4.17 Óptica geométrica y gafas AR
- 4.18 Espejos y cucharas
- 4.19 Lentes gravitacionales y óptica relativista
- 4.20 Dilatación del tiempo y contracción de longitudes

- 4.21 **Cuerpo negro: applet**
- 4.22 **Radiación de Hawking: applet**
- 4.23 **Efecto fotoeléctrico y sus aplicaciones**
- 4.24 **Applets de Cosmología y Física de partículas**