

# La Física y Nosotros

## **Fundamentos**

La ciencia es uno de los logros más importantes de la humanidad y es fundamental para nuestra supervivencia. Los descubrimientos científicos han duplicado la esperanza de vida en el último siglo, a través de una marcada reducción de la mortalidad perinatal e infantil, y han también permitido un aumento en la productividad de la tierra que la ha hecho capaz de sostener el crecimiento poblacional.

Lo anterior ha conducido, en la segunda mitad del siglo XX, a una extrema profesionalización de la actividad científica, ya que se requiere de un intenso período de formación en los aspectos técnicos de cada disciplina, antes de alcanzar el nivel de conocimientos y experiencia necesarios para hacer contribuciones originales a la misma. Esto conlleva el riesgo de se pierda de vista la intrincada y profunda interrelación de las diferentes disciplinas científicas entre sí, y de cada una de ellas con los aspectos no científicos de la experiencia humana.

Otro efecto de la importancia que la ciencia ha adquirido en el mundo moderno es su formalización como un conjunto de técnicas y modos de pensamiento que garantizan la objetividad del conocimiento obtenido. Esto hace que con frecuencia se pierda de vista que se trata de una actividad llevada adelante por seres humanos, quienes a pesar de operar con un método científico que asegura resultados objetivos, mantienen sus pasiones, creencias, miedos, y otras subjetividades.

El objeto del presente curso es atacar los mencionados problemas. Se planea discutir y clarificar el modo en el que la actividad científica en el área de las ciencias exactas, con particular atención en la física, se articula con el resto de las disciplinas científicas y con los aspectos no científicos de la experiencia de los seres humanos. Con el objeto de analizar el rol de los científicos en la historia y de poner evidencia la dinámica esencialmente humana en la que se realiza la actividad científica, en cada clase se discutirán también reseñas biográficas de uno o más investigadores relacionados con el tema en discusión.

De este modo, se espera contribuir a la formación general del estudiante, entendiendo su disciplina más allá de los detalles específicos como hecha por personas e insertada en el resto de la actividad humana.

Cada clase se centra en la relación de la física con algún aspecto particular de la experiencia de los seres humanos, es decir con alguna de las demás ciencias naturales, con alguna de las ciencias humanas, con las artes, con la religión, con la filosofía, y con las ciencias formales.

Se motiva la discusión a través de una variedad de ejemplos donde la física interactúa con el aspecto particular analizado en esa clase, organizados en torno a los siguientes

ejes descriptivos:

- 1) La física como el sustrato: siendo la física probablemente la más fundamental de las ciencias naturales, es sensato esperar que el aspecto de la experiencia estudiado esté compuesto en sí mismo por hechos físicos, sobre los cuales emergen las propiedades que caracterizan al fenómeno en cuestión.
- 2) La física como una herramienta: en general se espera que los conocimientos, métodos, y técnicas obtenidos mediante el estudio de la física se constituyan en herramientas de la mayor utilidad para estudiar el aspecto de la experiencia en discusión.
- 3) La física como objeto: siendo que la física hace uso de las más variadas herramientas para obtener conocimiento sobre el universo, una interacción posible con el aspecto de la experiencia bajo estudio es que la física sea su campo de aplicación. En algunos casos y para determinados aspectos de la experiencia humana, se incluirá en la discusión un cuarto eje descriptivo:
- 4) ¿Es el aspecto en cuestión el sustrato de la física? Es decir, ¿podemos comprender a la física una propiedad emergente a partir de una realidad más fundamental encarnada por el aspecto de la experiencia bajo estudio? Al final del curso, se requerirá que el estudiante seleccione un aspecto de la experiencia y lo desarrolle en su coloquio de acuerdo a los ejes arriba listados. Al final programa adjunto se proponen posibles temas para dicho trabajo especial.

# Programa

***Un recorrido por las relaciones de la física con los demás aspectos de nuestra experiencia***

## **Introducción**

### **Clase 1: La comunicación humana**

- Nuestro lugar en el universo:
  - La posición de la vida en el universo: desde la macroescala hasta la microescala.
  - La posición del ser humano en el árbol de la vida: animales con memoria, con inteligencia, con comunicación, con lenguaje.
  - El ser humano como un animal con herencia cultural intergeneracional.
- La comunicación entre las personas:
  - La ciencia, el arte, la filosofía, y la religión, como los cuatro modos fundamentales de comunicación de la experiencia entre los seres humanos.
  - Demarcación de cada uno de estos modos de comunicación: como proposicionales y no proposicionales, y dentro de estos últimos de acuerdo al modo de validación de proposiciones.
  - Interacción entre los diferentes modos de comunicación, flujos de significado; aspectos de la experiencia humana.
- El lugar de la ciencia como modo de comunicación. El lugar de la física entre las demás ciencias.
  - ¿En qué sentido la física puede ser el sustrato natural en el que emergen los demás aspectos de la experiencia?
  - ¿Cómo puede la física ser una herramienta para entender y ampliar los demás aspectos?
  - ¿Como se aplican a la física los demás aspectos de la experiencia?
  - ¿Puede la física ser una propiedad emergente de algún otro aspecto de la experiencia?

### ***Bibliografía para la Clase 1***

- Klimovsky, G. (1994). *Desventuras del Conocimiento Científico*. Argentina: A-Z Editora.
- Bunge, M. (2018). *La ciencia: Su método y su filosofía*. España: Laetoli.
- Sagan, C. (2011). *Cosmos*. Estados Unidos: Random House Publishing Group.
- Sagan, C. (2012). *Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human*

*Intelligence*. Estados Unidos: Random House Publishing Group.

- Sagan, C., Druyan, A. (2011). *Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space*. Estados Unidos: Random House Publishing Group.
- Vucetich, Héctor, *Introducción a la filosofía exacta de la ciencia*, notas de clases
- Bunge, M. A. (1974). *Treatise on basic philosophy: Semantics 1: sense and reference*. Springer Netherlands, 1974
- Bunge, M. A. (1974). *Treatise on basic philosophy: Semantics 2: Interpretation and Truth*. Springer Netherlands, 1974
- Bunge, M. (1979). *Ontology 1: The furniture of the world*. Países Bajos: Reidel.
- Bunge, M. (1979). *Ontology 2: A world of systems*. Países Bajos: Reidel.

## **Parte I: La física y la tecnología**

### **Clase 2: La física y las ingenierías**

- La física como sustrato: áreas fundamentales de la física con aplicación en las ingenierías
  - Mecánica: mecánica de las partículas; mecánica del continuo: sólidos elásticos, fluidos, ondas sonoras.
  - Termodinámica: las leyes de la termodinámica
  - Electromagnetismo: las leyes de Maxwell en la forma de líneas de fuerza; las ondas electromagnéticas; Michael Faraday.
- La física como herramienta:
  - Ejemplos de aplicación de mecánica: engranajes y poleas; estática de estructuras; flujos en bombas y tuberías.
  - Ejemplos de aplicación de termodinámica: máquinas térmicas; física de explosiones; sistemas de refrigeración.
  - Ejemplos de aplicación del electromagnetismo: motores eléctricos; redes de distribución de energía; ondas de radio; sistemas electrónicos.
- La física como objeto:
  - Ingeniería de grandes experimentos: Large Hadron Collider (LHC), Large Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO) y Virgo; Cosmic Background Explorer (CoBE), Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) y Planck; Pierre Auger Observatory; telescopio Event Horizon Telescope.
  - Detección y procesamiento de señales: la señal Wow; LHC; telescopio Event Horizon.
  - Pensamiento ingenieril en la física: métodos de ingeniería inversa para la resolución de problemas; Paul Dirac y Richard P. Feynman.

## ***Bibliografía para la Clase 2***

- Tipler, P. A., Mosca, G. (2004). *Física para la ciencia y la tecnología. I y II* España: Reverté.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2013). *Fundamentals of Physics, Extended* Estados Unidos: Wiley.
- Feynman, R. P. (2010). “*Surely You’re Joking, Mr. Feynman!*”: *Adventures of a Curious Character*. Estados Unidos: W. W. Norton.
- Feynman, R. P. (1994). *The Character of Physical Law*. United Kingdom: Modern Library.
- Feynman, R. P., Leighton, R. (1989). *What do you care what other people think? : further adventures of a curious character*. United Kingdom: Bantam Books.
- Pais, A., Jacob, M., Olive, D. I., Atiyah, M. F. (2005). *Paul Dirac: The Man and His Work*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Kragh, H. (1990). *Dirac: a scientific biography*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Jones, B. (1870). *The Life and Letters of Faraday*. Reino Unido: Longmans, Green and Company.
- *Faraday as a Discoverer*. (2020). Reino Unido: Library of Alexandria.

## **Parte II: La física y las ciencias naturales**

### **Clase 3: la física y la astronomía**

- La física como sustrato:
  - La mecánica de Newton y los planetas: leyes de Kepler; Johannes Kepler y Tycho Brahe.
  - La mecánica de Newton y las galaxias: curvas de rotación.
  - La mecánica de Newton y el universo: expansión cosmológica, ecuación de configuración central; Alexandr Friedman, George Lemaître, Howard Robertson y Geoffrey Walker, Edwin Hubble y Milton Humason,
- La física como herramienta:
  - Astronomía óptica: el límite de óptica geométrica, la ecuación del iconal y la ley de Snell; construcción de telescopios, lentes y espejos.
  - Astronomía en el espectro electromagnético: de rayos X, ultravioleta, infrarroja, de microondas, radioastronomía; fondo cósmico de radiación.
  - Astronomía no electromagnética: astropartículas (observatorio Pierre Auger); ondas gravitacionales (LIGO y Virgo)

- La física como objeto:
  - Leyes de Kepler: su utilidad como motivación del principio de equivalencia.
  - Curvas de rotación de galaxias: por qué implican que existe una materia oscura.
  - Fondo cósmico de radiación: por qué implica que existe una energía oscura y que hubo una inflación cosmológica; Robert Dicke, Jim Peebles y David Wilkinson, Arno Penzias y Robert Wilson.

### **Bibliografía para la Clase 3**

- Sagan, C. (2011). *Cosmos*. Estados Unidos: Random House Publishing Group.
- Sagan, C., Druyan, A. (2011). *Comet*. Reino Unido: Random House Publishing Group.
- Davies, P. (2013). *The Last Three Minutes*. Reino Unido: Orion.
- Davies, P. C. W. (1978). *The Runaway Universe*. Estados Unidos: Harper & Row.
- Ellis, George FR, and Gary W. Gibbons. *Discrete Newtonian Cosmology*. *Classical and Quantum Gravity* 31.2 (2013): 025003.
- Verschuur, G. (2007). *The Invisible Universe: The Story of Radio Astronomy*. Alemania: Springer New York.
- Voller, R. (2021). *Hubble, Humason and the Big Bang: The Race to Uncover the Expanding Universe*. Suiza: Springer International Publishing.
- Fisher, P. (2022). *What Is Dark Matter?*. Reino Unido: Princeton University Press.

### **Clase 4: la física y la química**

- La física como sustrato:
  - Niveles atómicos; Antigua teoría cuántica, regla de Bohr-Sommerfeld, función onda de de Broglie, principio de incerteza, ecuación de Schrödinger; Niels Bohr y Werner Heisenberg.
  - El átomo de hidrógeno: descripción de los niveles atómicos.
  - Los átomos multielectrónicos: el origen de la clasificación periódica.
  - Los enlaces moleculares: iónico, covalente y puente de hidrógeno.
- La física como herramienta:
  - Técnicas de separación gravitacional: precipitación, centrifugación.
  - Técnicas de separación electromagnética: electroforesis; electrodeposición; espectroscopía de masas y selector de velocidades.
  - Técnicas espectroscópicas: espectros de emisión y de absorción; niveles atómicos, moleculares, vibracionales y rotacionales.

- La física como objeto: el origen de los elementos químicos
  - Origen del hidrógeno, helio y litio: la nucleosíntesis durante el Big Bang.
  - Origen de los elementos más pesados: los elementos más livianos que el hierro y las nebulosas estelares; los elementos más pesados y las supernovas; los elementos pesados y las kilonovas.
  - Elementos artificiales: estabilidad de núcleos atómicos, isla de estabilidad.

### **Bibliografía para la Clase 4**

- Sagan, C. (2000). *The cosmic connection, an Extraterrestrial Perspective*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Frayn, M. (2000). *Copenhagen: A Play in Two Acts*. Reino Unido: Samuel French.
- Moore, W. J., Moore, W. J. (1992). *Schrödinger: Life and Thought*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Fernández-Rañada, A. (2008). *Heisenberg: de la incertidumbre cuántica a la bomba atómica nazi*. España: Nivola.
- Strathern, P. (2014). *Bohr y la teoría cuántica*. España: Siglo XXI de España Editores, S.A.
- Carmona Guzmán, E. (2010). *Viaje a los confines de la tabla periódica*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

### **Clase 5: la física y la geología**

- La física como sustrato:
  - Equilibrio hidrostático de un fluido autogravitante: la Tierra como una gota líquida y el modelo de capas.
  - Mecánica de la dispersión celeste: las órbitas *limpias* como modo de clasificación de los cuerpos solares.
  - Dinámica de los fluidos terrestres: el magma y la deriva continental, fracturas y subducción de placas; la atmósfera, la fuerza de Coriolis y formación de huracanes; la salinidad y las corrientes marinas.
- La física como herramienta:
  - Ondas acústicas: ondas de tipo *P* y de tipo *S*; límite de acústica geométrica y el conocimiento del interior terrestre; técnicas de ecografía sísmica.
  - Datación geológica: la escala temporal del registro geológico; fiabilidad del registro geológico, la hipótesis silúrica.

- La física como objeto:
  - Origen del calor interior de la Tierra: desintegración radioactiva, escaleo de la generación de calor versus radiación al espacio.
  - Reactor nuclear natural en Ocklo, Gabón: dependencia temporal de las constantes fundamentales.
  - Las partes interactuantes del sistema terrestre: la idea de sistema complejo.

### **Bibliografía para la Clase 5**

- Gould, S. J. (2014). *Eight Little Piggies: Reflections in Natural History*. Reino Unido: Random House.
- Whitwam, Ryan (April 19, 2018). *Silurian Hypothesis: What If Humans Aren't the First Civilization on Earth?*. Extremetech.
- Spooner, A. M. (2020). *Geology For Dummies*. Alemania: Wiley.
- Landau, L. D., Pitaevskii, L. P., Kosevich, A. M., Lifshitz, E. (2012). *Theory of Elasticity: Volume 7*. Países Bajos: Elsevier Science.

### **Clase 6: la física y la biología**

- La física como sustrato:
  - La termodinámica de la vida: los seres vivos como sistemas termodinámicos abiertos y fuera del equilibrio.
  - La naturaleza física de la vida: la idea esencia vital, Alessandro Volta y Luigi Galvani, el experimento de las patas de rana.
  - La vida como un estado de la materia: la idea del cristal aperiódico; Erwin Schrödinger; el descubrimiento del ADN.
- La física como herramienta:
  - Leyes de escaleo: biotermodinámica, enfriamiento y tasa metabólica, la singularidad metabólica del ser humano; biomecánica, resistencia de materiales; escaleo de flujos, respiración y fractales; la ciencia de las películas clase B, arañas gigantes y hombres microscópicos.
  - Mecánica de la locomoción: diferentes tipos de locomoción; tensión superficial y mosquitos; gekkos y mecánica cuántica.
  - Mecánica de la natación y el vuelo: hidrodinámica; diferentes tipos de flotación y natación animal y de flotación vegetal; aerodinámica; diferentes tipos de vuelo animal y de dispersión aérea vegetal.

- La física como objeto:
  - Los seres vivos como sistemas físicos: la física de los sistemas termodinámicos abiertos y fuera del equilibrio.
  - La interacción entre los sistemas vivos: dinámica de bandadas y de cardúmenes; modelos predador-presa y ecuaciones de Lokta-Volterra, el caso de la Hudson Bay Company.
  - La complejidad de la vida: la evolución darwiniana y la ecología como sistemas complejos. Charles Darwin, Alfred Russell Wallace y Thomas Henry Huxley.
  - Los límites físicos de la vida: organismos extremófilos; bioquímicas alternativas; la ciencia de la exobiología.

### **Bibliografía para la Clase 6**

- Sagan, C. (2011). *Cosmos*. Estados Unidos: Random House Publishing Group.
- Sagan, C. (2012). *Dragons of Eden: Speculations on the Evolution of Human Intelligence*. Estados Unidos: Random House Publishing Group.
- Gould, S. J. (2000). *Wonderful Life*. Reino Unido: Vintage.
- Schrödinger, E. (2012). *What is Life? With Mind and Matter and Autobiographical Sketches*. India: Cambridge University Press.
- Gould, S. J. (2014). *Eight Little Piggies: Reflections in Natural History*. Reino Unido: Random House.
- Gould, S. J. (1980). *The Panda's Thumb: More Reflections in Natural History*. Estados Unidos: Norton.
- Asimov, I. (1968). *Photosynthesis*. Reino Unido: Basic Books, Incorporated.
- García González, A. (2010). *Darwin desde Darwin*. España: Los Libros de la Catarata.
- McCalman, I. (2010). *Darwin's Armada: Four Voyages and the Battle for the Theory of Evolution*. Estados Unidos: W. W. Norton.

### **Clase 7: la física y la medicina**

- La física como sustrato:
  - La mecánica y la termodinámica del cuerpo humano: parámetros mecánicos, peso, volumen, índice de masa corporal; límites mecánicos, tipos de esfuerzos y traumas; parámetros termodinámicos, temperatura corporal, presión sanguínea, consumo de energía y caloría nutricional; límites termodinámicos, hipotermia e hipertermia, presiones parciales de gases disueltos y despresurización en el buceo en profundidad; evolución temporal de los parámetros físicos, ritmo circadiano.

- La estadística de la salud: probabilidad de una enfermedad, probabilidad de falsos positivos, uso de la regla de Bayes en medicina.
- La interacción entre sistemas y la salud: modelos de dinámica de epidemias, puntos fijos y estabilidad; modelos de forest-fire.
- La física como herramienta:
  - Sistemas de imágenes médicas: radiografía, tomografía computada, tomografía por emisión de positrones, resonancia magnética, resonancia magnética funcional, ecografía.
  - Medicina nuclear y radioterapia: tratamientos con radiación.
  - Nanomedicina: vacuolas para transporte de drogas; nanopartículas magnéticas para hipertermia.
- La física como objeto:
  - Efectos de la radiación sobre la salud: deposición de energía y dosimetría; radiaciones no ionizantes, telefonía celular, tendidos eléctricos y transformadores; radiaciones ionizantes, radiación alpha, beta, gamma, enfermedad de radiación. Pierre Curie, Marie Curie, Irène Joliot-Curie.
  - Accidentes nucleares: nivel de gravedad, Chernobyl, Fukushima, Goiana, RA2, Anatoli Bugorski, *demon core*.
  - La controversia sobre la memoria del agua: publicación de Jacques Benveniste, intervención de James Randi, la homeopatía, entre el fraude científico y el *efecto Clever Hans*.

### **Bibliografía para la Clase 6**

- Strikman, M., Spaltian, K., Cole, M. W. (2014). *Applications of Modern Physics in Medicine*. Reino Unido: Princeton University Press
- Stephen Keevil, Renato Padovani, Slavik Tabakov, *Introduction to Medical Physics*. (2022). Estados Unidos: CRC Press.
- Hersey, J. (2022). *Hiroshima*. España: Penguin Random House Grupo Editorial España.

### **Clase 8: la física y las neurociencias**

- La física como sustrato:
  - Física de las neuronas: estructura y partes de la neurona, potencial de acción, ondas de permeabilidad, liberación de neurotransmisores.
  - Física de las redes de neuronas: conectoma; estructura del sistema nervioso, sistemas nerviosos central y periférico, sistemas simpático y parasimpático; modelado de redes, probabilidad de disparo, modelo de Ising en neurociencias, dimensionalidad del cerebro y escaleo de la inteligencia; criticalidad de avalanchas neuronales.

- Física de la sensación: percepción y procesamiento de estímulos, fenómenos perceptibles y no perceptibles, rangos de la percepción, ley de Weber-Fechner.
- La física como herramienta:
  - Análisis de ondas cerebrales: series temporales, transformada de Fourier, ondículas o *wavelets*.
  - Análisis funcional del proceso cognitivo: resonancia magnética nuclear funcional.
  - Diseño de sujetos neurológicos: fotoestimulación de neuronas.
- La física como objeto:
  - Naturaleza de la consciencia: hipótesis la contribución externa, de la propiedad intrínseca o del fenómeno emergente.
  - Ejemplo de la consciencia como contribución externa: ideas científicas decimonónicas sobre el alma.
  - Ejemplo de la consciencia como propiedad intrínseca: problemas no computables y teoremas de Turing, hipótesis de Penrose-Hameroff.
  - Ejemplo de la consciencia como fenómeno emergente: la neurociencia moderna.
- ¿Es la neurociencia el sustrato de la física?
  - Cerebros de Boltzmann: fluctuaciones espontáneas, probabilidad del universo observado, probabilidad de que sea una ilusión;

### **Bibliografía para la Clase 8**

- Sagan, C. (2011). *Broca's Brain: Reflections on the Romance of Science*. Estados Unidos: Random House Publishing Group.
- Penrose, R. (2016). *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*. Reino Unido: Oxford University Press.
- Montani, Fernando, et al. *The impact of high-order interactions on the rate of synchronous discharge and information transmission in somatosensory cortex*. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367.1901 (2009): 3297-3310.
- Amthor, F. (2023). *Neuroscience For Dummies*. Reino Unido: Wiley.
- Gage, N. M., Baars, B. (2018). *Fundamentals of Cognitive Neuroscience: A Beginner's Guide*. Reino Unido: Elsevier Science.

## Clase 9: la física y la informática

- La física como sustrato:
  - Teoría de la información: información de un evento, información media y entropía de Shannon; evolución temporal de la entropía en sistemas clásicos y cuánticos.
  - Procesamiento de la información: el sistema binario clásico como un *bit*; compuertas lógicas clásicas, NOT, AND, OR, XOR; el sistema binario cuántico como un *qbit*; compuertas lógicas cuánticas, Hadamard, Pauli-X, Pauli-Y, Pauli-Z, SWAP .
  - Redes neuronales: aprendizaje automatizado como un proceso de optimización; inteligencia artificial, test de Turing; Alan Turing.
- La física como herramienta:
  - Realización de compuertas lógicas por medios electrónicos: diodos, transistores.
  - Realización de compuertas lógicas por otros medios: computadoras mecánicas; computadoras hidráulicas; la máquina de Atickitera; Charles Babbage.
  - Miniaturización: la ley de Moore y sus límites físicos.
- La física como objeto:
  - Análisis informatizado de datos: *big data* y ciencia de datos; ciencia guiada por los datos.
  - Cálculo numérico: inversión de matrices; búsqueda de raíces; ecuaciones diferenciales parciales y ordinarias.
  - Simulaciones computacionales: procesos físicos inaccesibles al cálculo; procesos físicos inaccesibles al experimento; creación de plantillas para comparación con datos experimentales (LIGO y Virgo).
- ¿Es la informática el sustrato de la física?:
  - Programa de Wheeler: la física como la manera en que el universo procesa información, desde *it from bit* hasta *it from qbit*; retrodicción y mecánica hamiltoniana.
  - La hipótesis de la simulación: posibilidad de simulaciones universales dada la resolución con la que observamos el mundo; probabilidad de un universo real versus la de un universo simulado.
  - Universos simulados: autómatas celulares, juego de la vida de Conway, hipótesis de 't'Hooft sobre la mecánica cuántica.

### **Bibliografía para la Clase 9**

- Alan Ross Anderson, *Minds and Machines*. (1964). Reino Unido: Prentice-Hall.
- Shannon, Claude Elwood. *A mathematical theory of communication*. ACM SIGMOBILE mobile computing and communications review 5.1 (2001): 3-55.

- Virk, R. (2019). *The Simulation Hypothesis*: Bayview Labs, LLC.
- t Hooft, Gerard. *The cellular automaton interpretation of quantum mechanics*. Springer Nature, 2016.
- Copeland, B. J., Núñez Pereira, C. (2016). *Alan Turing: El pionero de la era de la información*. España: Turner.

### **Parte III: La física y las ciencias humanas**

#### **Clase 10: la física y la psicología**

- La física como sustrato:
  - Física intuitiva: la evolución de la psique humana y las limitaciones en la intuición de la física; mecánica del ímpetu versus mecánica de Newton; mecánica clásica versus mecánica cuántica, límite iconal de la función de onda; universo tridimensional versus universo de mayor dimensionalidad, reducción de Kaluza-Klein.
  - Ilusiones perceptivas y sesgos cognitivos: ilusiones ópticas; ilusiones auditivas; la pareidolia y las caras humanas en fotografías antiguas o de lugares inaccesibles, o en las nubes; la apofenia y la aparente certeza de los oráculos.
  - Limitaciones físicas a las posibilidades de la mente: el fracaso de la parapsicología científica; David Rhyne, cartas Zener y telepatía; Princeton Engineering Anomalies Research, cascadas y telequinesis; controversia de Daryl Bem y la precognición; inexistencia de mecanismos físicos que hagan posibles tales fenómenos; crisis de predictibilidad en la psicología científica.
- La física como herramienta:
  - Información y orden: su relación con la preferencia por arreglos espaciales regulares en el trastorno obsesivo compulsivo, en el desorden de personalidad obsesivo compulsivo y en los trastornos del espectro autista, orden y mentalidad militar.
  - Análisis automatizado del lenguaje: herramientas de diagnóstico; grafos lingüísticos; espacio semántico.
- La física como objeto:
  - El demonio de Maxwell: la termodinámica del proceso cognitivo.
  - Atipicidad psicológica en científicos famosos: Ettore Majorana, Paul Dirac, Albert Einstein.
- ¿Es la psicología el sustrato reduccionista de la física?
  - El universo como una alucinación: diferencias entre observaciones oníricas y reales, chequeos de realidad, sueños lúcidos.

## **Bibliografía para la Clase 10**

- Pinker, S. (2009). *How the Mind Works*. Reino Unido: W. W. Norton.
- Gomberoff, A., Edelstein, J. (2017). *Einstein para perplejos*. Chile: Penguin Random House Grupo Editorial Chile.
- Bedi, G., Carrillo, F., Cecchi, G. et al. *Automated analysis of free speech predicts psychosis onset in high-risk youths*. *npj Schizophr* **1**, 15030 (2015).
- Mota NB, Vasconcelos NAP, Lemos N, Pieretti AC, Kinouchi O, Cecchi GA, et al. (2012) *Speech Graphs Provide a Quantitative Measure of Thought Disorder in Psychosis*. *PLoS ONE* 7(4): e34928.
- Meyer, C., Borch-Jacobsen, M. (2005). *Le livre noir de la psychanalyse: vivre, penser et aller mieux sans Freud*. Francia: Arènes.

## **Clase 11: la física y la antropología**

Entendida en un sentido amplio como antropología social, antropología física, lingüística y arqueología.

- La física como sustrato:
  - Las medidas del hombre como datos: histogramas, hipótesis, significación; ley de los grandes números, teorema central del límite, la distribución normal. Variabilidad de las medidas humanas: el individuo y el grupo; media y varianza, individuos normales e individuos excepcionales.
  - Análisis cuantitativo de universales humanos: la ley de Zipf en el lenguaje, la explicación de Mandelbrot, el manuscrito Voynich; la ley de Zipf para las escalas urbanas; escaleo del crecimiento urbano y de las empresas; fractales en las aldeas africanas.
  - Las limitaciones físicas del hombre y la fantasía de trascenderlas: mitos, dioses, leyendas, superhéroes.
- La física como herramienta:
  - Técnicas de datación arqueológica: carbono 14, termoluminiscencia, barrido de resonancia electrónica, otras técnicas.
  - Técnicas de imágenes y análisis no destructivos de muestras arqueológicas: radiografía, ecografía, RMN, rayos X.
- La física como objeto:
  - Etnografía de las comunidades científicas: los científicos como tribu; jergas y dialectos científicos; códigos y ritos de pertenencia; símbolos de estatus social; Isaac Newton, Robert Hooke y Gottfried Wilhelm Leibniz.

## **Bibliografía para la Clase 11**

- Gould, S. J. (2006). *The Mismeasure of Man (Revised and Expanded)*. Estados Unidos: W. W. Norton.
- Lorenz, K. (2010). *So kam der Mensch auf den Hund*. Alemania: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Schleidt, Wolfgang M., and Michael D. Shalter. *Co-evolution of humans and canids*. *Evolution and cognition*, 9.1 (2003): 57-72.
- Sagan, C., Druyan, A. (2011). *Comet*. Reino Unido: Random House Publishing Group.
- Aitken, M. J. (1998). *Introduction to Optical Dating: The Dating of Quaternary Sediments by the Use of Photon-stimulated Luminescence*. Reino Unido: Clarendon Press.
- Duling, K. (2018). *Carbon Dating*. Cavendish Square Publishing, LLC.

## **Clase 12: la física y la sociología**

- La física como sustrato:
  - Las sociedades como sistemas complejos: redes multicapa con coevolución, elementos y estados, interacciones y evolución temporal; características comunes de los sistemas complejos.
  - Interacción entre actores sociales: teoría de juegos, dilema del prisionero, la física de los arreglos de custodia.
- La física como herramienta:
  - Recolección de datos estadísticos: encuestas, sesgos, técnicas de adquisición; sistemas electorales y análisis de fraudes.
  - Visualización de información sociológica: uso de grafos, modelos de atracción-repulsión y ecuación de configuración central, ejemplo de redes sociales.
  - Uso de analogías con la física: el ejemplo de la ley de Campbell y el principio de incerteza.
- La física como objeto:
  - Métricas científicas: evaluación científica, métricas de productividad versus métricas de impacto, índice  $h$ ; Inspire HEP metrics.
  - Interacción científica: redes de citas, redes de coautoría, NASA ADS Labs, Paperscape; índice de Erdős.
- ¿Es la sociología el sustrato de la física?
  - Programa fuerte de la sociología de la ciencia; construccionismo extremo y relativismo epistémico; Bruno Latour, Luce Irigaray, escándalo Alain Sokal y Jacques Bricmont.

## **Bibliografía para la Clase 12**

- Thurner, S., Hanel, R., Klimek, P. (2018). *Introduction to the Theory of Complex Systems*. Reino Unido: OUP Oxford.
- Sokal, A., Bricmont, J. (1997). *Impostures intellectuelles*. Francia: Odile Jacob.
- Gomberoff, Andrés, Víctor Muñoz, and Pierre Paul Romagnoli. *The physics of custody*. *The European Physical Journal B*, 87 (2014): 1-6.

## **Clase 13: la física y la economía**

- La física como sustrato:
  - Crecimiento malthusiano: crecimiento exponencial de la demanda versus crecimiento lineal de la oferta; colapso malthusiano; crecimiento sustentable y economía circular.
  - La energía como recurso económico fundamental: energía fósil solar, extrasolar y primordial; calentamiento global y riesgo nuclear, realimentación positiva, no linealidad; energía solar fotovoltaica, eólica, undimotriz, hidroeléctrica; energía lunar mareomotriz.
- La física como herramienta:
  - Econofísica: paradigma neoclásico marginalista, estática comparativa y termodinámica clásica, teoría del control óptimo y mecánica lagrangiana; métodos estadísticos y física estadística; movimiento browniano y mercados financieros, Bachelier y Einstein; ecuación de Black-Scholes y ecuación de Fokker-Planck. James Harris Simons y la Simons Foundation.
- La física como objeto:
  - La economía de la ciencia: flujo científico, ciencia básica y publicación, desarrollo tecnológico y patentes; sistema científico: instituciones empleadoras, financiadoras y beneficiarias; carrera científica: cargos temporarios y permanentes.
  - Los números de la ciencia: contribución pública y privada a la investigación; plazos y retornos de inversión en ciencia básica.
- ¿Es la economía el sustrato de la física?
  - Disgresión: las teorías de gauge y el comercio internacional.

## **Bibliografía para la Clase 13**

- Maldacena, Juan. *The symmetry and simplicity of the laws of physics and the Higgs boson*. *European Journal of Physics* 37.1 (2015): 015802.
- Sinha, S., Chatterjee, A., Chakraborti, A., Chakrabarti, B. K. (2010). *Econophysics: An Introduction*. Alemania: Wiley.

- Boyes, W. J., Melvin, M. (2012). *Fundamentals of Economics*. Reino Unido: South-Western Cengage Learning.

## **Clase 14: la física y la historia**

- La física como sustrato:
  - El entorno físico como origen de los procesos históricos: las glaciaciones y el poblamiento de América; la desertificación y los flujos migratorios; las inundaciones del Nilo y el nacimiento del Estado.
  - El avance científico como motor de la historia: la caza y la orientación, la agricultura y la predicción de las estaciones, la navegación y la geolocalización, Jonathan Swift y Gulliver, la revolución industrial y la termodinámica.
  - Hechos físicos contingentes y consecuencias históricas: el año sin verano, Mary Shelley y Frankenstein; el evento Carrington; el bólido de Tunguska.
- La física como herramienta:
  - Línea temporal y datación histórica: datación por eclipses, datación por cometas, sincronización por supernovas, otros sistemas de datación histórica.
  - Análisis cuantitativo del lenguaje: deriva lingüística como medida del contacto entre grupos humanos, las lenguas polinesias.
  - Estudios no destructivos y restauración de restos históricos: ejemplo de los pecios del Titanic y del Graf Spee.
- La física como objeto:
  - Historia de la física: unificaciones sucesivas como camino del avance científico; revoluciones científicas: de la tensión a la revolución, el sistema solar y la mecánica, el éter y la relatividad, la catástrofe infrarroja y la mecánica cuántica.
  - La historia de la física como parte de la historia: Karl Schwarzschild y la primera guerra mundial.
  - La historia de la física como impulsor de la historia: Albert Einstein y la bomba nuclear.

### ***Bibliografía para la Clase 14***

- Swift, J. (1826). *Gulliver's Travels*. Reino Unido: Jones.
- Shelley, M. W. (1869). *Frankenstein, or, The Modern Prometheus*. Estados Unidos: Sever, Francis, & Company.
- Heilbron, J. L. (2018). *The History of Physics: A Very Short Introduction*. Reino Unido: Oxford University Press.

## **Parte VI: La física y los aspectos no científicos de la experiencia humana**

### **Clase 15: la física y el arte**

- La física como sustrato:
  - Física de materiales, rangos elásticos y plásticos, tensión de ruptura, utilización en las diferentes artes
  - Física del color: percepción del color; espacios de color; síntesis de colores en la pintura, el cine, el vitral.
  - La física del sonido: ondas sonoras; ecuación de autovalores y espectro sonoro; timbre de un instrumento musical; ¿Se puede escuchar la forma de un tambor?
  - La física del movimiento: momento angular y momento de inercia; efecto Dzhhanivekov; la física de la danza y el patinaje.
- La física como herramienta:
  - Arquitectura: arcos y bóvedas; los masones y la clave de bóveda.
  - Artes escénicas: acústica, iluminación, arneses; la imposibilidad histórica de una *conspiración Apollo*.
  - Música: los luthiers y la construcción de instrumentos musicales.
- La física como objeto:
  - Representación artística de conceptos físicos: gráficos y diagramas, diagramas de fases, diagramas de Feynman; sonidos de un radiotelescopio y de las ondas gravitacionales.
  - La belleza como guía para la construcción de teorías físicas: la armonía de los mundos, la armonía de los mundos; el principio de Hamilton; las ecuaciones de Einstein; la ecuación de Dirac; la teoría de cuerdas. Leonardo da Vinci.

### **Bibliografía para la Clase 14**

- Rossing, T. D., Chiaverina, C. J. (1999). *Light science: physics and the visual arts*. Alemania: Springer.
- Gilbert, P. U. (2021). *Physics in the Arts*. Reino Unido: Elsevier Science.
- Greene, B. (2011). *The Elegant Universe*. Reino Unido: Random House.
- Veltman, M. (1994). *Diagrammatica: the path to Feynman rules*. Cambridge University Press.
- Kac, Mark. *Can one hear the shape of a drum?*. The american mathematical monthly 73.4P2 (1966): 1-23.
- Goldstein, H. (2011). *Classical Mechanics*. Pearson.

## Clase 16: la física y la religión

- La física como sustrato:
  - Verdad religiosa y verdad científica: valuación de proposiciones, objetividad y subjetividad, iluminación versus experimento.
  - Cosmovisión y cosmografía: escalas espaciales y temporales; el lugar físico del hombre y de la divinidad en el universo; Eratóstenes y la esfericidad de la Tierra; la esfera celeste y el lugar de Dios; Kepler y los sólidos platónicos; el espacio de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker; Georges Lemaître;
  - Cosmogonía y cosmología: principio de los tiempos o un mundo eterno; el arzobispo Ussher; George Cuvier y el catastrofismo, Edmund Halley y la salinidad de los mares; la historia cosmológica, el calendario cósmico.
- La física como herramienta:
  - La física de la voluntad: consideraciones energéticas y entrópicas; la posibilidad o imposibilidad física de la divinidad, la posibilidad o imposibilidad física del alma.
  - Determinismo y libre albedrío: ¿es el libre albedrío una posibilidad o una imposibilidad física? Física determinista versus física no determinista.
  - La física de la trascendencia: ¿qué se preserva cuando morimos?
  - La física de los milagros: ejemplos de mitos religiosos físicamente posibles e imposibles, la inundación del Mar Negro, el arca de la alianza, el sol sobre el Sinaí, las aguas del Mar Rojo, la estrella de Belén, etc.
- La física como objeto:
  - Misticismo pseudocientífico: deformación mística de ideas originadas en la física, mística de las energías, de la física cuántica, consciencia universal y noosfera.
  - Sentido de trascendencia en la investigación científica: cosmovisión científica, comunicación intergeneracional; alfa y omega; Albert Einstein, Carl Sagan; monólogo de Aaron Freeman.

### **Bibliografía para la Clase 16**

- Sladek, J. T. (1973). *The New Apocrypha*. Reino Unido: Hart-David MacGibbon.
- Gould, S. J. (2014). *Eight Little Piggies: Reflections in Natural History*. Reino Unido: Random House.
- Aaron Freeman, *Eulogy from a Physicist*
- Sagan, C. (2000). *The cosmic connection, an Extraterrestrial Perspective*. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Jammer, M. (2011). *Einstein and Religion: Physics and Theology*. Princeton University Press.

## Clase 17: la física y la filosofía

- La física como sustrato:
  - Metafísica: ontología, realismo versus empirismo ¿son los datos un reflejo imperfecto de la realidad, o es la realidad una creación mental basada en los datos?, pensamiento bayesiano; teleología ¿qué es el azar? Azar emergente versus azar ontológico.
  - Lógica: lógica clásica, álgebra de Boole y valuación; lógica clásica y mecánica cuántica, lógica multivaluada, lógica contextual, lógica difusa.
- La física como herramienta:
  - Ética: el determinismo y la responsabilidad, determinismo Laplaciano, mecánica estadística, Ludwig Boltzmann, teoría del caos, mecánica cuántica; consecuencias éticas del multiverso.
- La física como objeto:
  - El tiempo y el espacio: espacio y tiempo objetivos versus relacionales; visiones newtoniana y einsteniana.
  - Interpretaciones de la mecánica cuántica: necesidad en una visión realista versus una visión bayesiana; interpretación *shut up and calculate*, de Copenhague, de onda piloto, de muchos mundos.
  - Valuación de proposiciones: recapitulación de las diferencias entre ciencia, filosofía y religión.
- ¿Es la filosofía el sustrato reduccionista de la física?
  - Filosofía natural: Aristóteles y el método apirístico; Galileo Galilei y el método experimental.

### **Bibliografía para la Clase 17**

- Stoeger, William R., G. F. R. Ellis, and U. Kirchner. *Multiverses and cosmology: philosophical issues*. arXiv preprint astro-ph/0407329 (2004).
- Sábato, E. (1981). *Uno y el universo*. España: Seix Barral.
- Vucetich, Héctor, *Introducción a la filosofía exacta de la ciencia*, notas de clases
- Bunge, M. A. (1974). *Treatise on basic philosophy: Semantics 1: sense and reference*. Springer Netherlands, 1974
- Bunge, M. A. (1974). *Treatise on basic philosophy: Semantics 2: Interpretation and Truth*. Springer Netherlands, 1974
- Bunge, M. (1979). *Ontology 1: The furniture of the world*. Países Bajos: Reidel.
- Bunge, M. (1979). *Ontology 2: A world of systems*. Países Bajos: Reidel.

## **Parte V: La física y las ciencias formales**

### **Clase 18: la física y la matemática**

- La física como sustrato:
  - La matemática como parte de la física: métodos de investigación en física y en matemática, similitudes y diferencias; observación, generalización, hipótesis, formalización; demostración en matemática versus experimento en física.
  - Origen e interpretación física de conceptos matemáticos: determinantes como volúmenes, variedades como superficies, grupos como simetrías, etc. Emmy Noether.
- La física como herramienta:
  - La física como guía en el desarrollo de ideas matemáticas: de la velocidad a la derivada, del área a la integral, de la geometría al álgebra, de los vectores a los espacios lineales, de la mecánica a los espacios vectoriales.
  - La física como necesidad pedagógica en la matemática: uso de la física en la explicación y ejemplificación de conceptos matemáticos.
- La física como objeto:
  - La irrazonable eficacia de las matemáticas: omnipresencia de conceptos matemáticos en contextos diferentes; subdeterminación del modelo por los datos, aparente unicidad de los modelos y compatibilidad sus predicciones a pesar de lo limitado de su base experimental.
  - Modelado matemático de sistemas físicos: teorema de Wigner y la idea de partícula, generalización a fonones y espines; modelo estándar de las interacciones fundamentales; principio de relatividad de Einstein, teoría de la relatividad general.
- ¿Es la matemática el sustrato de la física?
  - Naturaleza de la matemática: ¿las matemáticas se inventan o se descubren?
  - La hipótesis de Tegmark: la jerarquía de los multiversos, horizonte cosmológico, inflación eterna, ramas de Everett, estructuras matemáticas ¿qué hace que nuestro universo sea real?

#### ***Bibliografía para la Clase 18***

- Tegmark, M. (2014). *Our Mathematical Universe: My Quest for the Ultimate Nature of Reality*. Estados Unidos: Knopf Doubleday Publishing Group.
- Wigner, Eugene P. *The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences*. Mathematics and science. 1990. 291-306.
- V. I. Arnold, *On teaching mathematics*

- Moran, Dominic. *Borges and the multiverse: some further thoughts*. *Bulletin of Spanish Studies* 89.6 (2012): 925-942.

## **Coloquios**

### **Clases 19-20: Coloquios**

Posibles temas para coloquios

- Física y deportes
- Física y cocina
- Física y derecho
- Física y cine
- Física y literatura
- Física y comunicaciones
- Física y política
- Física y estadística