

La Física y Nosotros

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.

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 la partícula, las leyes de Newton, sus hipótesis y sus requerimientos de consistencia;
 - Termodinámica: las leyes de la termodinámica en su forma estándar, entropía de Classius;
 - Electromagnetismo: las leyes de Maxwell en la forma de líneas de fuerza, las ecuaciones de Maxwell; fuerza de Lorentz; las ondas electromagnéticas; Personajes: Michael Faraday.
- La física como herramienta:
 - Ejemplos de aplicación de mecánica: principio de palanca, engranajes y poleas; estática discreta y reticulados, oscilaciones, modos normales y resonancia, ejemplo del puente de Tacoma; mecánica del continuo, sólidos elásticos y teoría de la elasticidad, estática continua, fluidos y ecuaciones de Navier-Stokes y de Euler, ~~borrar ondas sonoras~~
 - Ejemplos de aplicación de termodinámica: máquinas térmicas, la máquina de vapor; sistemas de refrigeración; física de explosiones.
 - Ejemplos de aplicación del electromagnetismo: torque sobre espiras y motores eléctricos; redes de distribución de energía; el espectro electromagnético y sus aplicaciones; las leyes de Kirkchoff y los sistemas electrónicos.
- La física como objeto:
 - Desarrollos a partir de la física ingenieril:
 - Desarrollos de la mecánica: las leyes de Newton en coordenadas generalizadas, transformadas de Legendre, mecánica lagrangiana, mecánica hamiltoniana.
 - Desarrollos de la termodinámica: las leyes de la termodinámica en su forma general, ensambles, representación entrópica; ecuación fundamental para sistemas macroscópicos generales.
 - Desarrollos del electromagnetismo: relatividad, cuadvectores y formulación covariante.
 - 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; Event Horizon Telescope; detección y procesamiento de señales: la señal Wow; LHC; Event Horizon.
 - Pensamiento ingenieril en la física: métodos de ingeniería inversa para la resolución de problemas. Personajes: 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.
- Héctor Vucetich, *Introducción a la Mecánica Analítica*.
- Nicolás Grandi, *Notas de mecánica analítica*.
- Herbert Callen, *Thermodynamics and an introduction to thermostatics*
- L. D. Landau, E. M. Lifshitz, *Theory of elasticity*.
- L.D. Landau, J.B. Sykes, *Fluid mechanics*

Parte II: La física y las ciencias naturales

Clase 3: la física y la astronomía

- La física como sustrato:
 1. La mecánica de Newton y la astronomía planetaria: leyes de Kepler; la segunda ley y la conservación del momento angular, la primera y la tercera ley y la ley de cuadrado inverso; teorema de Bertrand; Newton y el principio de equivalencia. Personajes: Johannes Kepler y Tycho Brahe
 - La mecánica de Newton y la astronomía galáctica: gotas autogravitantes y estrellas, ecuación de Poisson, ecuación de Lane–Emden; fusión; transiciones de fase gravitacionales; dinámica de los brazos espirales.
 - La mecánica de Newton y la astronomía extragaláctica: cosmología discreta newtoniana, ecuación de configuración central; cosmología relativista. Personajes: Edwin Hubble y Milton Humason.
- La física como herramienta:
 - La óptica y la astronomía planetaria: el límite de óptica geométrica, la ecuación del iconal y la ley de Snell; construcción de telescopios, lentes y espejos, ópticas adaptativas.
 - El espectro electromagnético y la astronomía galáctica: de rayos X, ultravioleta, infrarroja, de microondas, radioastronomía, telescopio Event Horizon; espectroscopía y la composición de estrellas lejanas.
 - Señales electromagnéticas y no electromagnéticas y la astronomía extragaláctica; fondo cósmico de radiación, COBE, WMAP, Planck; astronomía en astropartículas, Pierre Auger; astronomía en ondas gravitacionales, LIGO y Virgo; astronomía en neutrinos, IceCube.
- La física como objeto:
 - Lecciones de la astronomía planetaria: utilidad de las leyes de Kepler como motivación del principio de equivalencia; el perihelio de Mercurio y la Relatividad General.
 - Lecciones de la astronomía galáctica: fuerzas de largo alcance y termodinámica no extensiva; curvas de rotación y materia oscura, candidatos para materia oscura en la teoría de partículas, gravedad modificada.
 - Lecciones de la astronomía extragaláctica: por qué el fondo cósmico de radiación implica que existe una energía oscura y que hubo una inflación cosmológica. Personajes: 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.
- Nicolaus Copernicus, *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*
- Curtis Wilson, *Kepler Laws, so called*
- Owen Gingerich, *The great Martian catastrophe and how Kepler fixed it"*

Clase 4: la física y la química

- La física como sustrato:
 - Termodinámica: transiciones de fase; ecuación fundamental para especies químicas, potencial químico.
 - Mecánica cuántica: la función de onda y la regla de Born; la ecuación de Schrödinger, cuantización de la energía y del momento angular; el espín y la ecuación de Schrödinger-Pauli.
- La física como herramienta:
 - Termodinámica: equilibrio químico y ley de acción de masas-
 - Mecánica cuántica: estructura atómica; el átomo de hidrógeno y los niveles atómicos; los átomos multielectrónicos y la clasificación periódica; estructura molecular, enlace iónico, enlace covalente, enlace por puente de hidrógeno, niveles vibracionales y rotacionales; estructuras cristalinas, bandas. Personajes: Dimitri Mendeleev
- La física como objeto:
 - Antigua teoría cuántica: los espectros atómicos y el átomo de Bohr; la catástrofe ultravioleta y el principio de Planck; el efecto fotoeléctrico y el fotón; el experimento de Stern y Gerlach y el espín; la regla de Bohr-Sommerfeld; el principio de incerteza de Heisenberg, las ondas de de Broglie. Personajes: Niels Bohr y Werner Heisenberg.
 - Origen de los elementos químicos: hidrógeno, helio y litio, y la nucleosíntesis durante el Big Bang; los elementos más livianos que el hierro y las nebulosas estelares; los elementos más pesados y las supernovas; los elementos pesados y las kilonovas; los elementos artificiales, el modelo nuclear de capas, la estabilidad de núcleos y la radiactividad, 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.
- Steven Simons, *The Oxford solid state basics*.
- Eisberg, Resnik, *Quantum physics of atoms, molecules, solids and particles*.

- Henry M. Leicester, *Mendeleev and the Russian academy of sciences.*
- J. Michael Hollas, *Modern spectroscopy.*
- Stephen Weinberg, *Cosmology*
- Christian Iliadis, *Nuclear physics of stars*
- George W. Collins, *Fundamentals of stellar astrophysics*
- Jean-Louis Basdevant, James Rich, Michael Spiro, *Fundamentals in nuclear physics, from nuclear structure to cosmology*

Clase 5: la física y la geología

- La física como sustrato:
 - La estructura de la Tierra: fluido autogravitante y el modelo de capas; celdas convectivas de Rayleigh-Benard y deriva continental; el magma y el mecanismo de dínamo; el viento solar y las auroras; la atmósfera, la ecuación del charco, la fuerza de Coriolis y la formación de huracanes; los océanos, la salinidad y las corrientes marinas.
 - La Tierra en el universo: mecánica de la dispersión celeste, las órbitas *limpias* como modo de clasificación de los cuerpos solares; ciclos de Milanković y glaciaciones, los mil millones de años aburridos.
- La física como herramienta:
 - La estructura de la Tierra: ondas elásticas y ondas en fluidos, ondas de tipo *P* y de tipo *S*; límite de acústica geométrica y el conocimiento del interior terrestre; técnicas de ecografía sísmica.
 - La Tierra en el universo: datación geológica por zircón y la edad de la Tierra; la escala temporal del registro geológico, eras geológicas; el registro geológico y su fiabilidad, la hipótesis silúrica.
- La física como objeto:
 - Lecciones de la estructura de la Tierra: origen del calor interior, desintegración radioactiva, hundimiento diferencial y catástrofe del hierro, generación de calor versus radiación al espacio como primer ejemplo de escaleo alométrico; reactor nuclear natural en Ocklo, Gabón, Dirac y la dependencia temporal de las constantes fundamentales.
 - Lecciones de la Tierra en el universo: las partes interactuantes del sistema terrestre como idea básica de un sistema complejo, introducción de la idea de red o grafo para organizar estados e interacciones, definición formal de red *simple*.

Bibliografía para la Clase 5

- Gould, S. J. (2014). *Eight Little Piggies: Reflections in Natural History*: Random House.
- Schmidt GA, Frank A. *The Silurian hypothesis: would it be possible to detect an industrial civilization in the geological record?* doi:10.1017/S1473550418000095
- Spooner, A. M. (2020). *Geology For Dummies*. Alemania: Wiley.
- Serge A. Shapiro, Peter Hubral (1998), *Elastic Waves in Random Media: Fundamentals of Seismic Stratigraphic Filtering*, Lecture Notes in Earth Sciences, Springer
- Slawinski M.A. (2003), *Seismic Waves and Rays in Elastic Media*, Pergamon
- Landau, L. D., Pitaevskii, L. P., Kosevich, A. M., Lifshitz, E. (2012). *Theory of Elasticity: Volume 7*. Países Bajos: Elsevier Science.
- Steffen, W. et.al., *Global change and Earth system*

Clase 6: la física y la biología

- La física como sustrato:
 - Biomecánica y bioelectricidad: el experimento de las patas de rana, la naturaleza física de la vida y la idea de esencia vital. Personajes: Alessandro Volta y Luigi Galvani
 - Biotermodinámica y bioestadística: la segunda ley de la termodinámica y los sistemas termodinámicos abiertos; termodinámica fuera del equilibrio, fases fuera del equilibrio, la vida como un estado de la materia, la idea del cristal aperiódico, el descubrimiento del ADN. Personajes: Erwin Schrödinger.
- La física como herramienta:
 - Biotermodinámica y bioestadística: leyes de escaleo alométrico, enfriamiento y tasa metabólica, la singularidad metabólica del ser humano; escaleo de resistencia de materiales; escaleo de flujos, respiración y fractales; ley de Kleiber; la ciencia de las películas clase B, arañas gigantes y hombres microscópicos.
 - Biomecánica y bioelectricidad: mecánica de la locomoción, tensión superficial y mosquitos, gekos y mecánica cuántica; mecánica de la natación, hidrodinámica, diferentes tipos de flotación y natación animal y de flotación vegetal; mecánica del vuelo, aerodinámica, diferentes tipos de vuelo animal y de dispersión aérea vegetal.
- La física como objeto:
 - Biotermodinámica y bioestadística: dinámica de bandadas y de cardúmenes; modelos predador-presa y ecuaciones de Lokta-Volterra, el caso de la Hudson Bay Company; autómatas celulares, modelo *game of life* de Conway y *forest fire*, criticalidad autoorganizada, interpretación de 't Hooft de la mecánica cuántica; la complejidad de la vida: la evolución darwiniana y la ecología como sistemas complejos. Personajes: Charles Darwin, Alfred Russell Wallace y Thomas Henry Huxley.
 - Los límites físicos de la vida: organismos extremófilos; bioquímicas alternativas; la ciencia de la astrobiología; biomarcadores, vida de arsénico, fosfinas en Venus, DMS y DDMS en el exoplaneta K2-18b, manchas de leopardo en Marte; el peligro de la vida en espejo; biósfera en las sombras y el barniz del desierto.

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.
- Bresadola, Marco, *Shocking frogs Galvani, Volta, and the electric origins of neuroscience*.
- John Gribbin, *Erwin Schrödinger and the Quantum Revolution*.
- Geoffrey B. West et. al., *A General Model for the Origin of Allometric Scaling Laws in Biology*.
- D'Arcy Wentworth Thompson, *On Growth and Form*.
- Michael Labarbera, *It's Alive*
- Tommaso Toffoli, Norman Margolus, *Cellular Automata Machines: A New Environment for Modeling*
- Xuewei Li, Jinpei Wu, Xueyan Li, *Theory of Practical Cellular Automaton*.
- Gerard 't Hooft, *The Cellular Automaton Interpretation of Quantum Mechanics*
- Gerda Horneck, Petra Rettberg, *Complete Course in Astrobiology*
- Prof. Koki Horikoshi, Alan T. Bull (auth.), Koki Horikoshi (eds.), *Extremophiles Handbook*

Clase 7: la física y la medicina

- La física como sustrato:
 - La biomecánica de la salud: parámetros mecánicos, peso, volumen, índice de masa corporal; funcionamiento del sistema muscular y esquelético, límites mecánicos, tipos de esfuerzos y traumas.
 - La biotermodinámica de la salud: parámetros termodinámicos, temperatura corporal y presión sanguínea; funcionamiento del corazón y del sistema circulatorio, presión sistólica y diastólica, vasoconstricción y vasodilatación, presiones parciales de gases disueltos y enfermedad de despresurización; termofisiología y termorregulación, límites termodinámicos, hipertermia e hipotermia, consumo de energía y caloría nutricional; evolución temporal de los parámetros físicos y ritmo circadiano.
 - La bioestadística de la salud: la probabilidad y los axiomas de Kolmogorov, probabilidad de una enfermedad, probabilidad de falsos positivos, uso de la regla de Bayes en medicina; modelos dinámicos para epidemias, picos e inmunidad de rebaño, puntos fijos y estabilidad.
- La física como herramienta:
 - La física para el diagnóstico: sistemas de imágenes médicas, radiografía, tomografía computada, tomografía por emisión de positrones, resonancia magnética, ecografía, ecodoppler.
 - La física para la terapia: medicina nuclear y radioterapia, SPECT, PET, tratamientos con

radiación; nanomedicina, vacuolas para transporte de drogas; nanopartículas magnéticas para hipertermia.

- La física como objeto:
 - Efectos de la física sobre la salud: radiación, deposición de energía y dosimetría; radiaciones no ionizantes, telefonía celular, tendidos eléctricos y transformadores; radiaciones ionizantes, radiación alpha, beta, gamma, enfermedad de radiación. Personajes: Pierre Curie, Marie Curie, Irène Joliot-Curie. Accidentes nucleares: nivel de gravedad, Chernobyl, Fukushima, Goiana, RA2, Anatoli Bugorski, Robert Peavody, Therac-25, *deamon core*.
 - Lecciones sobre la física desde la salud: 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., Spaltalian, 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.
- Henry Blackburn and David Jacobs Jr., *Commentary: Origins and evolution of body mass index (BMI): continuing saga*.
- Ancel Keys et. al., *Indices of relative weight and obesity*.
- Gentiane Venture, Jean-Paul Laumond, Bruno Watier, *Biomechanics of Anthropomorphic Systems-Springer*
- Emico Okuno, Luciano Fratin, *Biomechanics of the Human Body*
- Julien D. Périard, Sébastien Racinais, *Heat Stress in Sport and Exercise*
- Ewa Grodzinsky, Märta Sund Levander, *Understanding Fever and Body Temperature*
- Katarina Katic, Rongling Li, Wim Zeiler, *Thermophysiological models and their applications: A review*
- Joseph Bass, *Circadian topology of metabolism*
- Martha Hotz Vitaterna, Joseph S Takahashi, Fred W Turek, *Overview of Circadian Rhythms*
- Dasgupta, *Fundamentals of Probability: a first course*.
- Matt J. Keeling, Pejman Rohani, *Modeling Infections*.
- William R. Hendee, E. Russell Ritenour, *Medical Imaging Physics*.
- Peter F. Sharp, Howard G. Gemmell, Alison D. Murray, *Practical Nuclear Medicine*.

Clase 8: la física y las neurociencias

- La física como sustrato:
 - La física del sistema nervioso: estructura y partes de la neurona, potencial de acción, ondas de permeabilidad, liberación de neurotransmisores; redes de neuronas, el conectoma como una red simple *orientada* con *estados*, excitación y probabilidad de disparo, matriz de incidencia; estructura del sistema nervioso, sistemas nerviosos central y periférico, sistemas simpático y parasimpático.
 - La física de la sensación: percepción y procesamiento de estímulos, fenómenos perceptibles y no perceptibles, rangos de la percepción, ley de Weber-Fechner
 - La física de la información: información de un evento, información media y entropía de Shannon; otras medidas de información, medidas de proximidad entre distribuciones de probabilidad, medidas de complejidad.
- La física como herramienta:
 - La física para el modelado: probabilidad de disparo, modelo de Ising en neurociencias y su universalidad, dimensionalidad del cerebro y escaleo alométrico de la inteligencia; hipótesis de la criticalidad.
 - La física para el análisis: ondas cerebrales como series temporales, transformada de ondículas o *wavelets*, extracción de información a partir de una serie temporal; análisis funcional del proceso cognitivo: resonancia magnética nuclear funcional.
- La física como objeto:
 - Naturaleza física 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: máquinas de Turing, problemas no computables y teoremas de Turing, hipótesis de Penrose-Hameroff.
 - Ejemplo de la consciencia como fenómeno emergente: la neurociencia moderna; el problema fuerte de la consciencia, el problema de la identidad, el problema del otro; teorías sobre la consciencia, resonancia tálamo-cortical recurrente, teoría de la información integrada, otras teorías.
- ¿Es la neurociencia el sustrato de la física?
 - Cerebros de Boltzmann: fluctuaciones espontáneas, probabilidad del universo observado, probabilidad de que sea una ilusión. Personajes: Ludwig Boltzmann.

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:
 - La física de la información: entropía de Boltzmann de un sistema clásico, entropía de von Neumann de un sistema cuántico, entropía de entrelazamiento; evolución temporal *naive* de la entropía en sistemas clásicos y cuánticos.
 - La física del procesamiento de información: computadoras analógicas, digitales y cuánticas
 - Computadoras analógicas: el ejemplo de la regla de cálculo; amplificadores, filtros, moduladores y demoduladores, sumadores, multiplicadores, convertidores logarítmicos, memoria, arquitectura de computadoras analógicas.
 - Computadoras digitales: el ejemplo del ábaco; el sistema binario clásico como un *bit*; compuertas lógicas clásicas, NOT, AND, OR, XOR, arquitectura de computadoras digitales.
 - Computadoras cuánticas: el ejemplo del spin; el sistema binario cuántico como un *qbit*; compuertas lógicas cuánticas, Hadamard, Pauli-X, Pauli-Y, Pauli-Z, SWAP, arquitectura de computadoras cuánticas.
 - La física del aprendizaje automático: la máquina de Hopfield, la máquina de Boltzmann; redes neuronales como redes orientadas y *pesadas*, matriz de pesos, aprendizaje automatizado como un proceso de optimización; aprendizaje automatizado como un proceso de renormalización; inteligencia artificial, test de Turing. Personajes: Alan Turing y la máquina *Enigma*.
- La física como herramienta:
 - Realización de procesadores de información: analógicos, digitales y cuánticos
 - Elementos analógicos: electrónicos, neumáticos, mecánicos; la máquina de Atickitera.
 - Compuertas lógicas digitales: electrónicas, la ley de Moore y sus límites físicos; realización por medios neumáticos o mecánicos; la máquina de las diferencias. Personajes: Charles Babbage.
 - Compuertas cuánticas: *qbits* sin errores y *qbits* con errores; *qbits* con iones atrapados, *qbits* con superconductores, *qbits* topológicos, otros; algoritmo de encriptación RSA y el riesgo cuántico.
- La física como objeto:

- Informática para el cálculo: algoritmos numéricos, inversión de matrices, búsqueda de raíces, ecuaciones diferenciales ordinarias, problemas de contorno, ecuaciones diferenciales parciales.
- Informática para las simulaciones: procesos físicos inaccesibles al cálculo; procesos físicos inaccesibles al experimento; creación de plantillas para comparación con datos experimentales (LIGO y Virgo).
- Informática para la optimización: *big data* y ciencia de datos; la física de la optimización de procesos; ciencia guiada por datos, ejemplo del doblado de proteínas.
- ¿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 clásica hamiltoniana; retrodicción y unitariedad de la evolución cuántica.
 - 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.

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:
 - La física de la percepción: ilusiones perceptivas; ilusiones ópticas; ilusiones auditivas; la pareidolia y las caras humanas en fotografías antiguas, en lugares inaccesibles, o en las nubes; sesgos cognitivos, la apofenia y la aparente certeza de los oráculos.
 - La física de la cognición: física intuitiva, la evolución de la psique humana y las limitaciones en la intuición de la física; mecánica del ímpetu versus mecánica de Newton, límite disipativo; mecánica clásica versus mecánica cuántica, teorema de Ehrenfest; universo tridimensional versus universo de mayor dimensionalidad, reducción de Kaluza-Klein.
 - La física de la acción: 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:
 - Aplicaciones de la física de la información: el orden y 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.
 - Aplicaciones de la física del espacio: análisis automatizado del lenguaje; redes lingüísticas, grado de un nodo, medidas de conectividad y ordenabilidad, caminatas en una red, topología de una red; espacio semántico, medidas de distancia, medidas de direccionalidad.
 - Aplicaciones de la física cuántica: ilusiones perceptivas y cognitivas indecidibles, analogía con el formalismo cuántico, alcance predictivo y limitaciones.
- La física como objeto:
 - Lecciones sobre la física desde la psicología: el demonio de Maxwell y la termodinámica del proceso cognitivo.
 - Efectos de la psicología sobre la física: atipicidad psicológica, incidencia de autismo, depresión y ansiedad en la comunidad científica. Personajes: Ettore Majorana, Paul Dirac, Albert Einstein.
- ¿Es la psicología el sustrato de la física?
 - El universo como una alucinación: diferencias entre observaciones oníricas y reales, chequeos de realidad, ciclos de sueño y 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:
 - Física o biológica: 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.
 - Lingüística: lenguajes y codificación, codificación óptima, ley de Zipf y la explicación de Mandelbrot; ley de Heaps, ley de Menzerath.
 - Arqueología: las glaciaciones y la evolución biológica y cultural, el poblamiento de la Tierra, el poblamiento americano; análisis genético, la población Y y la interacción con otras especies humanas.
 - Social y cultural: la ley de Zipf para el crecimiento urbano, escaleo en el crecimiento urbano y de empresas; fractales en aldeas africanas; las limitaciones físicas del hombre y la fantasía de trascenderlas: mitos, dioses, leyendas, superhéroes.
- La física como herramienta:
 - Física o biológica: técnicas de imágenes y análisis no destructivo en antropología forense; el polígrafo y la comparación microscópica de cabellos como ejemplos de ciencia fallida, el *Innocence Project*.
 - Lingüística: la Ley de Zipf como test de información, el manuscrito Voynich, el lenguaje rongorongong, el alfabeto etrusco, las runas, otros ejemplo; la ley de Zipf y la canción de las ballenas.
 - Arqueología: técnicas de datación, carbono 14, potasio-iodo, termoluminiscencia, fotoluminiscencia; técnicas de análisis no destructivo de restos arqueológicos.
 - Social y cultural: modelado de relaciones humanas, redes *bipartitas*, el ejemplo de la física de los arreglos de custodia; teoría de juegos, el ejemplo del dilema del prisionero.
- La física como objeto:
 - Física o biológica: medidas de la comunidad científica, el ejemplo de los tests de inteligencia, la indeterminación de las matrices de Raven.
 - Lingüística: lingüística de la actividad científica, el idioma de la ciencia a través de la historia, la tesis de Whorf-Sapir; la jerga de la ciencia.
 - Arqueología: máximos solares e inversiones magnéticas y pinturas rupestres, plomo de un naufragio romano para medir decaimiento beta doble, copa de Licurgo y la resonancia superficial de plasmones, otros ejemplos.
 - Social o cultural: marco para una cultura de la investigación científica, los científicos como tribu, códigos y ritos de pertenencia; símbolos de estatus social. Personajes: Isaac Newton, Robert Hooke, Gottfried Wilhelm Leibniz, y Edmund Halley.

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., Druryan, 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 física de los sistemas complejos
 - Redes o grafos: definición, tipos, matriz de adyacencia, medidas de conectividad y ordenabilidad; caminatas, tipos, conexidad, tamaño.
 - Redes aleatorias: la red de Erdős-Rényi; las redes aleatorias complejas, la paradoja de la amistad, formación de grumos; redes de mundo pañuelo.
 - Evolución en las redes y de las redes, coevolución; modelos de difusión, caminatas aleatorias, transporte, prestigio de Katz, Google PageRank; modelos con coevolución el modelo del votante; redes multicapa con coevolución, características comunes de los sistemas complejos.
- La física como herramienta:
 - La física para la visualización de información sociológica: algoritmo de Fruchterman-Reingold, aplicación a las redes sociales.
 - La física para la recolección de datos estadísticos: encuestas, sesgos, técnicas de adquisición; sistemas electorales y análisis de fraudes; teorema de imposibilidad de Arrow.
 - La física para la generación de analogías: el ejemplo de la ley de Campbell y el principio de incertidumbre.
- La física como objeto:
 - La sociología de la actividad científica: redes de citas, redes de coautoría, NASA ADS Labs, Paperscape; índice de Erdős.
 - La sociología de la evaluación científica: métricas científicas: evaluación científica, métricas de productividad versus métricas de impacto, índice h , índice i_{10} ; Inspire HEP metrics.
- ¿Es la sociología el sustrato de la física?
 - Programa fuerte de la sociología de la ciencia; construccionismo extremo y relativismo epistémico; Personajes: Bruno Latour y 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:
 - Estructura básica de la economía: actores y bienes, sectores de la economía, bienes primarios fundamentales: energía, trabajo y conocimiento.
 - La energía como bien primario fundamental, fuentes de energía para la actividad económica.
 - Energía fósil
 - De origen solar: fotosíntesis, período carbonífero, dióxido de carbono y efecto invernadero; calentamiento global, realimentación positiva, escenarios de desastre.
 - De origen extrasolar: reactores de fisión de uranio y de sales de torio, riesgo nuclear versus riesgo del CO₂; energía geotérmica.
 - De origen primordial: reactores de fusión, historia y funcionamiento del *tokamak*.
 - Energía solar: fotosíntesis, leña y biocombustibles, el ciclo del carbono; energía fotovoltaica, juntura *p-n*; energía hidroeléctrica, energía eólica, energía undimotriz.
 - Energía lunar: origen de las mareas, potencial newtoniano de dos cuerpos; plantas mareamotrices.
- La física como herramienta:
 - El trabajo como recurso primario fundamental, la física como herramienta para gestionar el trabajo de los diferentes actores económicos.
 - Paradigma neoclásico marginalista, la estática comparativa y la termodinámica clásica, maximización de utilidad, principio de Le Châtelier; maximización sujeta a vínculos, multiplicadores de Lagrange, menores principales protegidos; envolvente y transformada de Legendre, vínculos unilaterales y variables laxas;
 - Tasa de interés y crecimiento: estática entre tiempos diferentes; crecimiento exponencial de la demanda versus crecimiento lineal de la oferta; colapso malthusiano; crecimiento sustentable y economía circular.
 - Otros ejemplos de física en economía: teoría del control óptimo y mecánica lagrangiana; métodos estadísticos y física estadística; movimiento browniano y mercados financieros, Personajes: Bachelier y Einstein; ecuación de Black-Scholes y ecuación de Fokker-Planck. Personajes: James Harris Simons y la Simons Foundation.
- La física como objeto:
 - El conocimiento como bien primario fundamental:
 - Flujo científico, ciencia básica y publicación, desarrollo tecnológico y patentes; sistema científico: instituciones empleadoras, financiadoras y beneficiarias; carrera científica: cargos temporarios y permanentes; áreas científicas, necesidad de un sistema

interrelacionado

- Ejemplos de interrelación científica: la formulación de la fuerza de roce como vínculo unilateral, descripción con variables laxas.
- 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 avance científico como motor de la historia: la caza y la orientación, la extinción de la megafauna y el nacimiento de la agricultura; la agricultura y la predicción de las estaciones, la navegación, el poblamiento de la Polinesia, la geolocalización y “Los viajes de Gulliver”, la revolución industrial y la termodinámica. Personajes: Jonathan Swift.
 - Consecuencias históricas de hechos físicos contingentes: la pequeña edad del hielo y Caperucita Roja, el año sin verano y “Frankenstein” y “El Vampiro”; el evento Carrington; el bólido de Tunguska; más ejemplos. Personajes: Mary Shelley, Percy Shelley, Lord Byron, John Polidori.
- La física como herramienta:
 - La física y la evidencia histórica: el entorno físico y la conservación, el alfabeto *rongorongo* y la cultura polinesia, la civilización del Amazonas; estudios no destructivos y restauración de restos históricos: ejemplo de los pecios del Titanic y del Graf Spee. Personajes: Francisco de Orellana.
 - La física de la datación histórica: línea temporal y sincronización, 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.
- La física como objeto:
 - La 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 física en la historia: la física y las guerras mundiales, la primera guerra mundial y las radiografías, la segunda guerra mundial y la bomba nuclear. Personajes: Karl Schwarzschild, Marie Curie, Albert Einstein.

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:
 - Música: ecuación de las ondas de sonido, modos normales y tonos, desarrollo de Fourier y timbre; melodía, contrapunto y armonía, acordes anarmónicos y batido.
 - Arquitectura y artes plásticas: regímenes de los materiales; ecuación de ondas elásticas y frecuencias normales, resonancia; teoría de la plasticidad, tensor de deformación plástica, condición de fluencia; ruptura, esfuerzo local y ecuación energética, esfuerzo externo y relación de Inglis.
 - Artes visuales y escénicas: generación de luz, luz incandescente, luz fluorescente, luz LED; generación de color, incandescencia, fluorescencia, transiciones moleculares, transiciones en impurezas, transiciones rotacionales y vibracionales, transiciones entre bandas, dispersión, interferencia y difracción; la danza y la dinámica de los cuerpos flexibles, modificación del momento de inercia.
- La física como herramienta:
 - Música: construcción de instrumentos musicales, uso del método de elementos finitos.
 - Arquitectura y artes plásticas: cálculo de la resistencia estática, uso del método de elementos finitos, resistencia de edificios, conservación de esculturas, el David de Michelangelo; los masones y la clave de bóveda.
 - Artes visuales y escénicas: percepción y síntesis del color, síntesis sustractiva y aditiva, descomposición RGV y YCM, descomposición HVS; acústica e iluminación, sensibilidad a la luz no natural, la imposibilidad histórica de una *conspiración Apollo*, dinámica de los cuerpos flexibles, inestabilidad de Dzhaniybekov.
- La física como objeto:
 - Representación artística de ideas físicas: comunicación no proposicional en gráficos y diagramas, diagramas de fases, diagramas de Feynman; sonidos de un radiotelescopio y de

las ondas gravitacionales.

- Problemas físicos de origen artístico: la catenaria; la curva de Viviani y las curvas *clelias*, el problema de Kac y los tambores isoespectrales.
- Conceptos artísticos en la física: la belleza como guía, la armonía de los mundos, Kepler y los sólidos platónicos; el principio de Hamilton; las ecuaciones de Einstein; la ecuación de Dirac; la teoría de cuerdas; las simetrías y el teorema de Wigner; Personajes: 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:
 - Ética: verdad religiosa y verdad científica, valoración de proposiciones, objetividad y subjetividad, iluminación versus experimento.
 - Cosmovisión: cosmografía, escalas espaciales y temporales; la escala de distancias cósmica, Eratóstenes y la esfericidad de la Tierra, Aristarco, Copérnico, Kepler y el tamaño del sistema solar, paralaje y brillo absoluto, estrellas cefeidas, supernovas tipo IA, Edwin Hubble y las galaxias; el espacio de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker. Personajes: Georges Lemaître.
 - Cosmogonía: la singularidad inicial y el *Big Bang*, los problemas de naturalidad y la inflación, modelos cosmológicos sin singularidad; la historia cosmológica, el calendario cósmico.
 - Trascendencia: la segunda ley de la termodinámica y el flujo de la información hacia grados de libertad microscópicos, decoherencia
- La física como herramienta:
 - Ética: la física de la voluntad, consideraciones energéticas y entrópicas; determinismo y libre albedrío ¿es el libre albedrío una posibilidad o una imposibilidad física? determinismo Laplaciano, mecánica estadística, teoría del caos, mecánica cuántica; la verdad del bien y el mal; la posibilidad o imposibilidad física de la divinidad; consecuencias éticas del multiverso.
 - Cosmovisión: el lugar físico del hombre y de la divinidad en el universo; la esfera celeste y el lugar de Dios.

- Cosmogonía: un 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 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.
- Trascendencia: ¿qué se preserva cuando morimos? preservación de la información; la posibilidad o imposibilidad física del alma.
- La física como objeto:
 - Ética: la ética de la investigación científica.
 - Cosmovisión: misticismo pseudocientífico; deformación mística de ideas originadas en la física, mística de las energías, de la física cuántica, consciencia universal y noosfera.
 - Cosmogonía: el lugar de Dios en la visión presente del universo; alfa y omega; Albert Einstein.
 - Trascendencia: comunicación intergeneracional; Carl Sagan; monólogo de Aaron Freeman.
- ¿Es la religión el sustrato de la física?
 - Argumentos creacionistas, diseño inteligente, el ajuste fino de las constantes universales

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.
- San Agustín, *La ciudad de Dios*.
- Baruch de Spinoza, *Ética demostrada según un orden geométrico*.

Clase 17: la física y la filosofía

- La física como sustrato:
 - Gnoseología y epistemología: el enfoque puramente empírico de una teoría física, magnitudes, precisión y ruido, histogramas y correlación; ejemplos en termodinámica, mecánica estadística clásica y mecánica cuántica.
 - Metafísica y ontología: sistema y medio, observables, estado y ley natural; ejemplos en termodinámica, mecánica estadística clásica y mecánica cuántica.
 - Filosofía de la ciencia: teorías físicas, formulación de la ley natural, consistencia y rangos de aplicación, determinismo y dispersión emergente versus dispersión ontológica (~~achicar, mover a la sección de religión~~); ejemplos en termodinámica, mecánica estadística clásica y

- mecánica cuántica; límite clásico estadístico, límite clásico, límite termodinámico.
- La física como herramienta:
 - Gnoseología y epistemología: la medición del espacio, del tiempo y la simultaneidad en teorías clásicas no-relativistas y relativistas y en mecánica cuántica; mecánica relacional de Linden-Bell
 - Metafísica y ontología: naturaleza del tiempo, simetrías y localidad, naturaleza del espacio, construcción del espacio y del tiempo a partir de las simetrías, la idea de partícula, generalización a fonones y espinones; modelo estándar de las interacciones fundamentales; principio de relatividad de Einstein, teoría de la relatividad general
 - Filosofía de la ciencia: la física como una ciencia matemática, la física como el patrón de las ciencias naturales, formulación y naturaleza de la ley natural.
 - La física como objeto:
 - Gnoseología y epistemología: verificación y falsabilidad, inaplicabilidad de la idea de cisne negro; probabilidad bayesiana.
 - Metafísica y ontología: realidad de los conceptos físicos, interpretación del formalismo, interpretaciones de la mecánica cuántica, instrumentalista, Copenhagen, onda piloto, muchos mundos;
 - Filosofía de la ciencia: epistemología de Bunge, gramática formal y lenguaje formal, lógica booleana como lenguaje formal, lenguaje conceptual; retículos y lógica booleana, ideales y filtros; contexto, tenor y discurrencia, base axiomática y aspecto principal;
 - ¿Es la filosofía el sustrato de la física?
 - Filosofía natural: Aristóteles y el método apriorístico; Galileo Galilei y el método experimental. Personajes: Galileo Galilei

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.
- Ernst Mach, *Space And Geometry In The Light Of Physiological, Psychological And Physical Inquiry*.

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; Emmy Noether.
- La física como herramienta:
 - Enseñando matemáticas: el origen y la interpretación física de conceptos matemáticos, y el uso de la física en su explicación y ejemplificación; determinantes como volúmenes, variedades como superficies, grupos como simetrías, de la velocidad a la derivada, del área o del promedio a la integral, de los vectores a los espacios lineales, de la mecánica cuántica a los espacios de Hilbert.
- La física como objeto:
 - La irrazonable efectividad de las matemáticas en las ciencias naturales: 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.
- ¿Es la matemática el sustrato de la física?
 - El universo matemático: las teorías del todo y su clasificación; sistemas formales y estructuras matemáticas; estructuras autoconscientes, el pájaro y la rana, probabilidad antrópica y probabilidad subjetiva; la isla local; la jerarquía de los multiversos.

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
- Física y robótica
- Física y lingüística
- Física y arqueología
- Física y guerra
- Física y lógica