

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.

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

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.

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; las leyes de la termodinámica en su forma general, transformadas de Legendre, ensambles, representación entrópica;
 - 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
 - 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 las ondas de radio; 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, mecánica lagrangiana, mecánica hamiltoniana.
 - Desarrollos de la termodinámica: ecuación fundamental para sistemas macroscópicos generales;
 - Desarrollos del electromagnetismo: 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, 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, 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 escape 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*. Reino Unido: Random House.
- Schmidt GA, Frank A. *The Silurian hypothesis: would it be possible to detect an industrial civilization in the geological record?* International Journal of Astrobiology. 2019;18(2):142-150. 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, *daemon 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 7

- 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.

- 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 *naïve* 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 Atckitera.
 - 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 indecibles, 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 rongorongo, 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., 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:
 - La 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 grupos; 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.
- Gomboroff, 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 RGB 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, valuación 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; monólogo de Aaron Freeman. Personajes: Carl Sagan.
- ¿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; 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, los alumnos pueden sugerir otros temas, siempre con la estructura del curso “La física como sustrato”, “La física como herramienta” y “La física como objeto”.

- 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