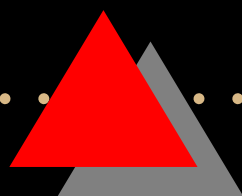


Huellas del pensamiento griego en la física moderna

Héctor Vucetich

FCAGLP - UNLP



Introducción



Ciencia y filosofía

La ciencia moderna utiliza un conjunto de ideas y conceptos para describir el universo. Algunas de esas nociones son de naturaleza filosófica, tales como la de ley natural o la de contrastación con la experiencia. Otras, en cambio, son características de la ciencia particular, tales como la de átomo o la de campo de fuerzas en la física.

Muchas de esas ideas provienen del mundo helénico, a través de una historia azarosa de olvidos y descubrimientos.



Grecia y nosotros

Bertrand Russell ha observado que

Casi todas las ideas que han influido en la filosofía moderna fueron primeramente ideadas por los griegos... Los considero como los creadores de teorías que después se han independizado, desarrollándose, y que han podido sobrevivir y evolucionar en el transcurso de más de dos mil años, aunque al principio eran ciertamente infantiles.



Ideas infantiles

- **Tres ejemplos típicos**, que han desempeñado un papel importante en la **creación, formulación y comprobación** de teorías físicas modernas.



Ideas infantiles

- Tres ejemplos típicos, que han desempeñado un papel importante en la creación, formulación y comprobación de teorías físicas modernas.
- la descripción matemática de la naturaleza,



Ideas infantiles

- Tres ejemplos típicos, que han desempeñado un papel importante en la creación, formulación y comprobación de teorías físicas modernas.
- la descripción matemática de la naturaleza,
- la noción de sustancia fundamental y



Ideas infantiles

- Tres ejemplos típicos, que han desempeñado un papel importante en la creación, formulación y comprobación de teorías físicas modernas.
- la descripción matemática de la naturaleza,
- la noción de sustancia fundamental y
- la noción de cambio.



Influencia

En el caso de la física, la influencia del pensamiento griego es **lejana pero clara**: sus huellas quedan marcadas incluso en **teorías muy modernas y muy ascéticas**, tan alejadas de la filosofía como podría desear el más recalcitrante de los científicos duros.



La noción de ley natural



Regularidad y ley

- El hombre siempre ha querido **explicar las regularidades observadas en la naturaleza:**



Regularidad y ley

- El hombre siempre ha querido **explicar las regularidades observadas en la naturaleza:**
- la **sucesión de las estaciones,**



Regularidad y ley

- El hombre siempre ha querido **explicar las regularidades observadas en la naturaleza:**
- la **sucesión de las estaciones,**
- la **piedra de imán** o



Regularidad y ley

- El hombre siempre ha querido **explicar las regularidades observadas en la naturaleza:**
- la **sucesión de las estaciones,**
- la **piedra de imán** o
- la **reproducción de los seres vivos.**



Explicaciones míticas

(**Posidón**) Así diciendo reunió nubes,
agitó el mar
tridente en mano; y levantó muchas
ráfagas
de todos vientos, con nubes ocultó
ambos tierra y mar; y **cayó del cielo**
la noche.

Odisea, v 291–294



¿Ley Jurídica?

La comparación entre el **orden de la naturaleza** con el **orden jurídico en la pólis** parece haber sugerido una **concepción jurídica de la ley natural**

El Sol no sobrepasará sus medidas. De lo contrario, **las Erinias, servidoras de la justicia, lo descubrirán.**

Heráclito, Frag 94

Esta concepción prosperó a través de la Edad Media, en la forma de la **Gran Cadena del Ser.**



La ley matemática

La noción de ley natural es, actualmente, muy distinta de esa concepción original. En física, especialmente, un enunciado de ley toma la forma de una o más estructuras matemáticas cuya validez describe la evolución de un sistema de objetos materiales.

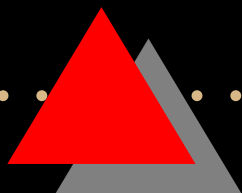


Pitágoras de Samos



El origen

La concepción moderna de ley natural **tiene raíces muy profundas en los pitagóricos** que identificaron las cosas de la naturaleza con **entidades matemáticas: los números**. Es extraño que esto ocurriera, pues la filosofía pitagórica, **dogmática y alejada de la realidad**, **se prestaba más a las especulaciones abstractas que al estudio de la naturaleza**.



Música y ley



El origen (2)

- Sin embargo, se atribuye a Pitágoras mismo el descubrimiento una ley natural: la relación sencilla entre los intervalos musicales usando como instrumento el monocordio, tal vez de su propia invención.



El origen (2)

- Sin embargo, se atribuye a Pitágoras mismo el descubrimiento una ley natural: la relación sencilla entre los intervalos musicales usando como instrumento el monocordio, tal vez de su propia invención.
- La generalización de este descubrimiento a todos los fenómenos naturales fue un acto audaz, pero no muy diferente de las hipótesis cosmológicas comunes en las últimas décadas.



Platón y Aristóteles



Platón

- Platón también sugirió la existencia de regularidades matemáticas en la naturaleza, especialmente en el movimiento de los planetas.



Platón

- Platón también sugirió la existencia de regularidades matemáticas en la naturaleza, especialmente en el movimiento de los planetas.
- Pero la filosofía platónica, que consideraba real al mundo de las ideas y sólo una sombra al mundo físico, no era la adecuada para el estudio de la naturaleza.



Aristóteles

- Tampoco Aristóteles, pese a su gran interés en las ciencias naturales, ayudó al desarrollo moderno de la noción de ley física, pues desconfiaba de las matemáticas.



Aristóteles

- Tampoco Aristóteles, pese a su gran interés en las ciencias naturales, ayudó al desarrollo moderno de la noción de ley física, pues desconfiaba de las matemáticas.
- Interesado principalmente en la biología, la noción de ley natural propuesta por Aristóteles es cualitativa y descriptiva, a diferencia de la ley formal y cuantitativa característica de la física moderna.



Alejandro

- En Alejandro, Ptolomeo Sóter creó la Biblioteca y el Museo, que formaron la primera institución “universitaria” del mundo.



Alejandro

- En Alejandro, Ptolomeo Sóter creó la Biblioteca y el Museo, que formaron la primera institución “universitaria” del mundo.
- Arquímedes, Aristarco y Eratóstenes intentaron analizar la naturaleza usando fundamentos matemáticos,



Alejandría

- En Alejandría, Ptolomeo Sóter creó la Biblioteca y el Museo, que formaron la primera institución “universitaria” del mundo.
- Arquímedes, Aristarco y Eratóstenes intentaron analizar la naturaleza usando fundamentos matemáticos,
- en una forma sorprendentemente moderna.



Alejandro

- En Alejandro, Ptolomeo Sóter creó la Biblioteca y el Museo, que formaron la primera institución “universitaria” del mundo.
- Arquímedes, Aristarco y Eratóstenes intentaron analizar la naturaleza usando fundamentos matemáticos,
- en una forma sorprendentemente moderna.
- Allí estuvieron las fuentes de la moderna noción de ley física.



Arquímedes



Ley matemática

- Quedan sus análisis de la palanca y de los cuerpos flotantes.



Ley matemática

- Quedan sus análisis de la palanca y de los cuerpos flotantes.
- Tienen una estructura similar a las publicaciones en revistas modernas de física.



Ley matemática

- Quedan sus análisis de la palanca y de los cuerpos flotantes.
- Tienen una estructura similar a las publicaciones en revistas modernas de física.
- Se enuncian las respectivas leyes naturales en forma cuantitativa.



Ley matemática

- Quedan sus análisis de la palanca y de los cuerpos flotantes.
- Tienen una estructura similar a las publicaciones en revistas modernas de física.
- Se enuncian las respectivas leyes naturales en forma cuantitativa.
- Se basan (posiblemente) sobre un cuidadoso trabajo experimental.



Ley matemática

- Quedan sus análisis de la palanca y de los cuerpos flotantes.
- Tienen una estructura similar a las publicaciones en revistas modernas de física.
- Se enuncian las respectivas leyes naturales en forma cuantitativa.
- Se basan (posiblemente) sobre un cuidadoso trabajo experimental.
- Parte del mismo puede ser del mismo Arquímedes.



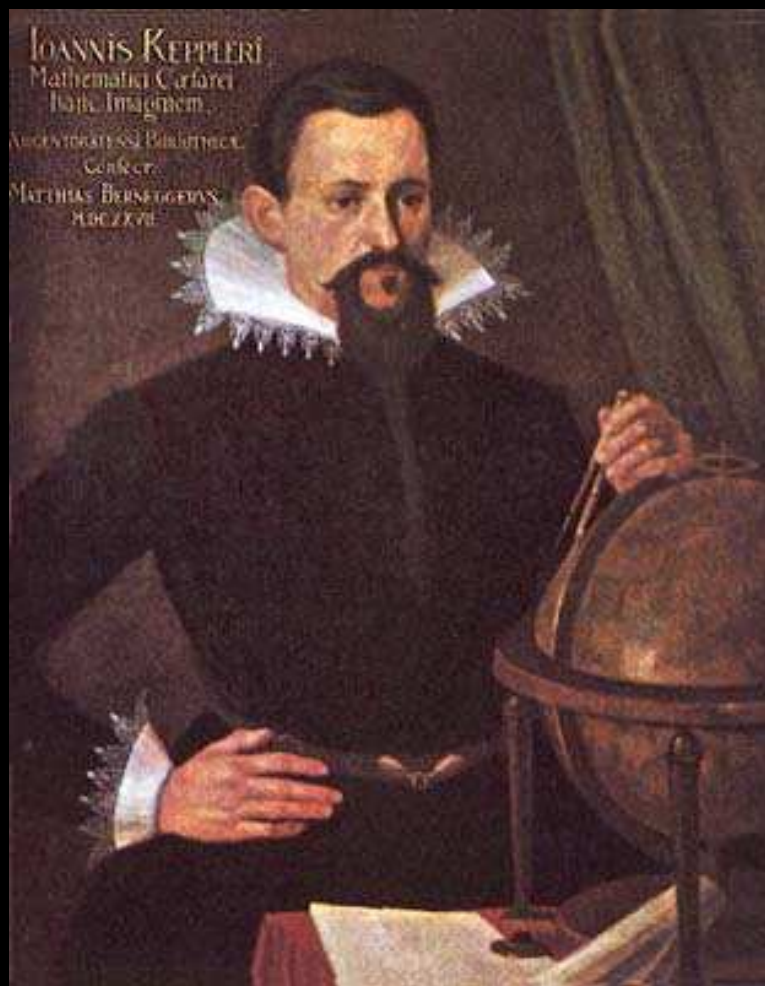
Los herederos de Arquímedes

El enunciado de leyes naturales en forma matemática (en los trabajos de Arquímedes) constituyó un modelo de investigación en ciencias naturales para los hombres del Renacimiento.

Copérnico, Tico Brahe y Képler desarrollaron en poco menos de un siglo una formulación legal, matemática, del comportamiento del Sistema Solar.



Kepler



Las leyes de Képler

- Las **leyes de Képler** resumían en muy pocas ecuaciones no sólo los voluminosos datos elaborados por Aristarco, Hiparco y Tolomeo



Las leyes de Képler

- Las **leyes de Képler** resumían en muy pocas **ecuaciones** no sólo los **voluminosos datos** elaborados por Aristarco, Hiparco y Tolomeo
- sino también los **datos incomparablemente más precisos** de Tico Brahe.

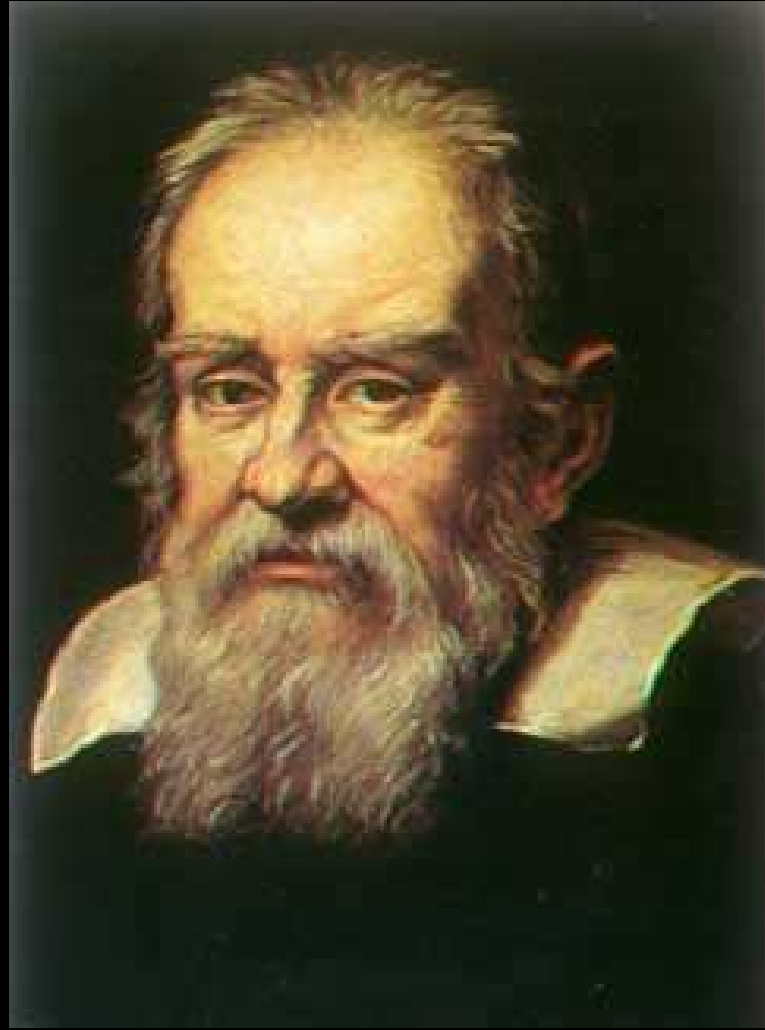


Las leyes de Képler

- Las **leyes de Képler** resumían en muy pocas ecuaciones no sólo los voluminosos datos elaborados por Aristarco, Hiparco y Tolomeo
- sino también los **datos incomparablemente más precisos de Tico Brahe**.
- Además, podía explicar fenómenos que las antiguas formulaciones no podían, como **las fases de Venus**, descubiertas por Galileo.



Galileo

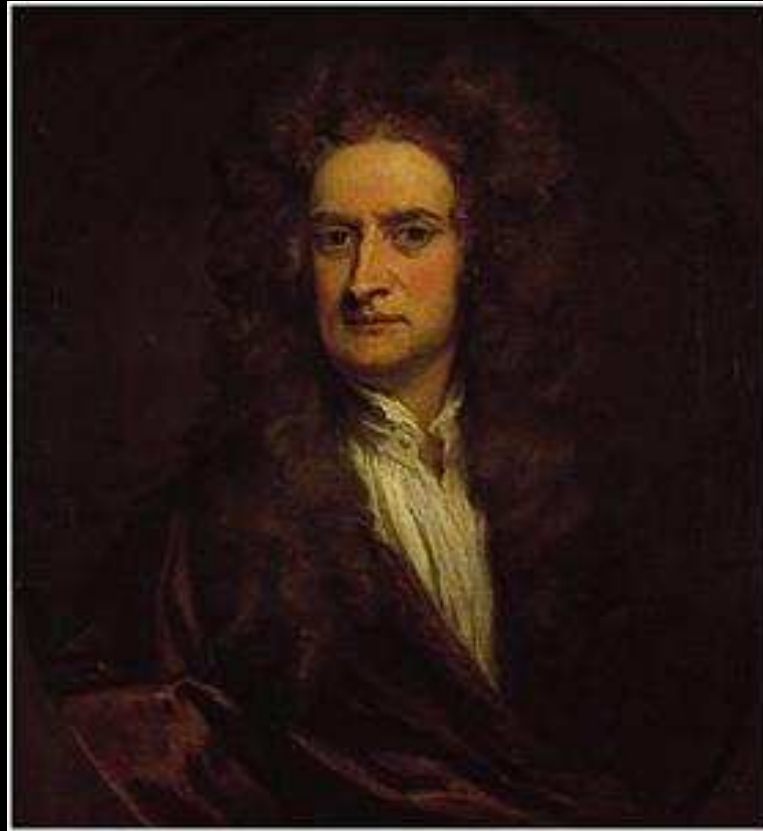


Il Saggiatore

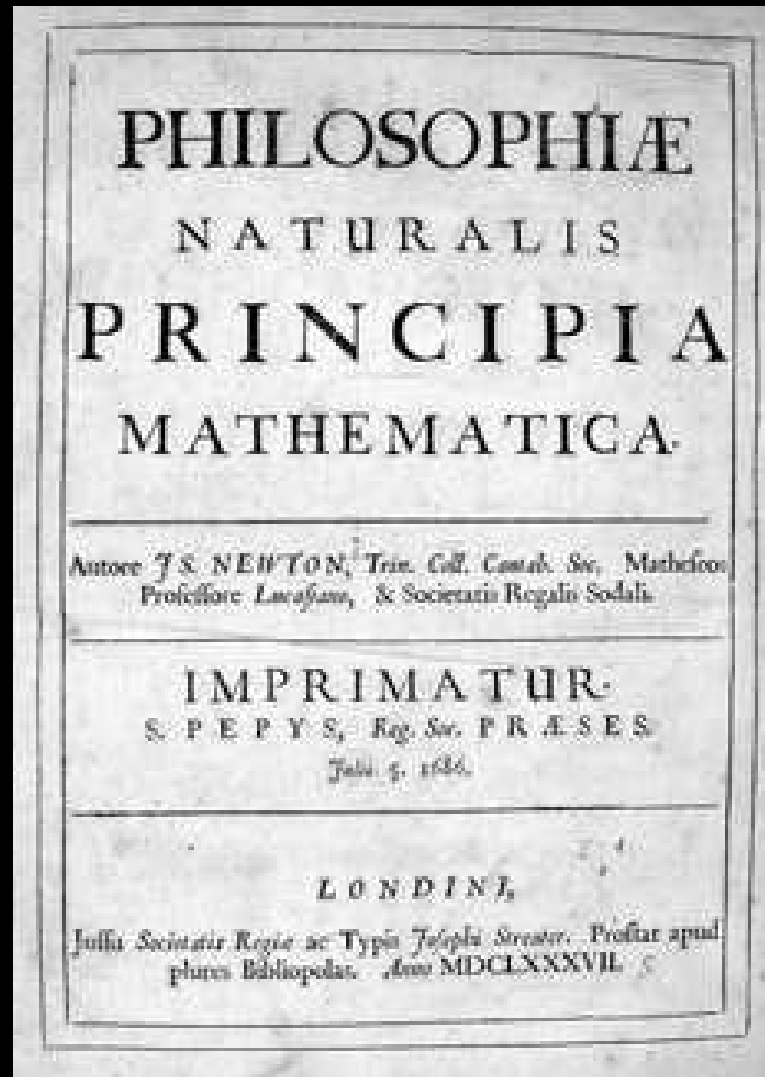
La filosofía está escrita en este vasto libro (...[el] universo) el cual... no se puede entender si antes no se ha aprendido... su lengua... Y está escrito en el lenguaje de las matemáticas, siendo sus caracteres triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las cuales es humanamente imposible comprender una sola palabra; sin ellos sólo se conseguirá vagar por un oscuro laberinto.



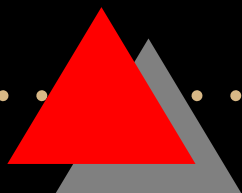
Newton



Los Principia



La substancia fundamental



Aristóteles

La mayoría de los primeros filósofos, pensaron que los principios de todas las cosas se encuentran en la especie de la sustancia material, pues [es] aquello de lo cual constan todos los seres, y de lo cual se engendran primeramente y en lo que finalmente se disuelven, quedando permanente la sustancia en el cambiar de sus modalidades...



Los jónicos

- Thales: el agua.



Los jónicos

- Thales: el agua.
- Anaximandro: el *áperion* (lo ilimitado).



Los jónicos

- Thales: el agua.
- Anaximandro: el *áperion* (lo ilimitado).
- Anaxímenes: el aire.



Los jónicos

- Thales: el agua.
- Anaximandro: el *áperion* (lo ilimitado).
- Anaxímenes: el aire.
- Heráclito: el fuego.



Una opinión importante

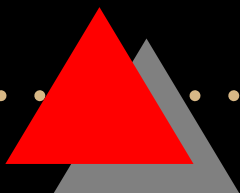
Las especulaciones de Tales, Anaximandro y Anaxímenes deben considerarse hipótesis científicas, y rara vez señalan intrusiones indebidas de deseos antropomórficos e ideas morales.

Bertrand Russell Historia de la Filosofía Occidental



Los cinco elementos

- **Empédocles** propuso la tierra como el cuarto elemento



Los cinco elementos

- **Empédocles** propuso la tierra como el cuarto elemento
- y dos **fuerzas opuestas**: **Eros** y **Eris**.
(Concordia y Discordia)



Los cinco elementos

- **Empédocles** propuso la tierra como el cuarto elemento
- y dos **fuerzas opuestas**: **Eros** y **Eris**.
(Concordia y Discordia)
- **Pitágoras**: **el Éter** que forma los cuerpos celestes.



Los cinco elementos

- **Empédocles** propuso la tierra como el cuarto elemento
- y dos **fuerzas opuestas**: **Eros** y **Eris**.
(Concordia y Discordia)
- **Pitágoras**: **el Éter** que forma los cuerpos celestes.
- **Aristóteles**: **sintetizó todos los pasos anteriores**.



Los cinco elementos

- **Empédocles** propuso la tierra como el cuarto elemento
- y dos **fuerzas opuestas**: **Eros** y **Eris**.
(Concordia y Discordia)
- **Pitágoras**: **el Éter** que forma los cuerpos celestes.
- **Aristóteles**: **sintetizó todos los pasos anteriores**.
- Fue la teoría de la materia durante dos mil años.



Los primeros químicos

- van Helmont: el fuego no puede ser constituyente de la materia.



Los primeros químicos

- van Helmont: el fuego no puede ser constituyente de la materia.
- Robert Boyle: Primera definición moderna de Elemento Químico:



Los primeros químicos

- van Helmont: el fuego no puede ser constituyente de la materia.
- Robert Boyle: Primera definición moderna de Elemento Químico:
- Por Elemento Químico quiero significar... los ingredientes con los que están hechos los cuerpos perfectamente mezclados... [que] no pueden ser hechos con otros cuerpos ni ser obtenidos los unos de los otros.



Lavoisier



TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE CHIMIE.

TOME PREMIER.



El siglo XIX

- Se descubrieron unos **90 elementos químicos**.



El siglo XIX

- Se descubrieron unos **90 elementos químicos**.
- Eran **demasiadas sustancias fundamentales**.



El siglo XIX

- Se descubrieron unos **90 elementos químicos**.
- Eran **demasiadas sustancias fundamentales**.
- **Prout**: Todos los elementos se forman, por algún mecanismo de condensación, **a partir del hidrógeno**.



El siglo XIX

- Se descubrieron unos **90 elementos químicos**.
- Eran **demasiadas sustancias fundamentales**.
- **Prout**: Todos los elementos se forman, por algún mecanismo de condensación, **a partir del hidrógeno**.
- **Rechazada** en el siglo XIX.



El siglo XIX

- Se descubrieron unos **90 elementos químicos**.
- Eran **demasiadas sustancias fundamentales**.
- **Prout**: Todos los elementos se forman, por algún mecanismo de condensación, **a partir del hidrógeno**.
- **Rechazada** en el siglo XIX.
- **Confirmada** en el XX.



Los atomistas griegos



Los atomistas griegos

- **Leucipo y Demócrito:** fragmentaron la materia en átomos.



Los atomistas griegos

- Leucipo y Demócrito: fragmentaron la materia en átomos.
- Formados por la misma sustancia fundamental, sus diferencias se debían a su forma, tamaño y posición.



Los atomistas griegos

- Leucipo y Demócrito: fragmentaron la materia en átomos.
- Formados por la misma sustancia fundamental, sus diferencias se debían a su forma, tamaño y posición.
- Todas las cosas de la naturaleza se forman por choques puramente mecánicos.



Los atomistas griegos

- Leucipo y Demócrito: fragmentaron la materia en átomos.
- Formados por la misma sustancia fundamental, sus diferencias se debían a su forma, tamaño y posición.
- Todas las cosas de la naturaleza se forman por choques puramente mecánicos.
- Las transformaciones se deben sólo al azar y la necesidad.



Epicuro

- **Epicuro** aceptó el atomismo porque su materialismo se oponía a la religión: **el origen de todos los males.**



Epicuro

- Epicuro aceptó el atomismo porque su materialismo se oponía a la religión: el origen de todos los males.
- El poema de Lucrecio *De rerum natura* describe el atomismo y fue la forma en que la filosofía atomista llegó al Renacimiento.

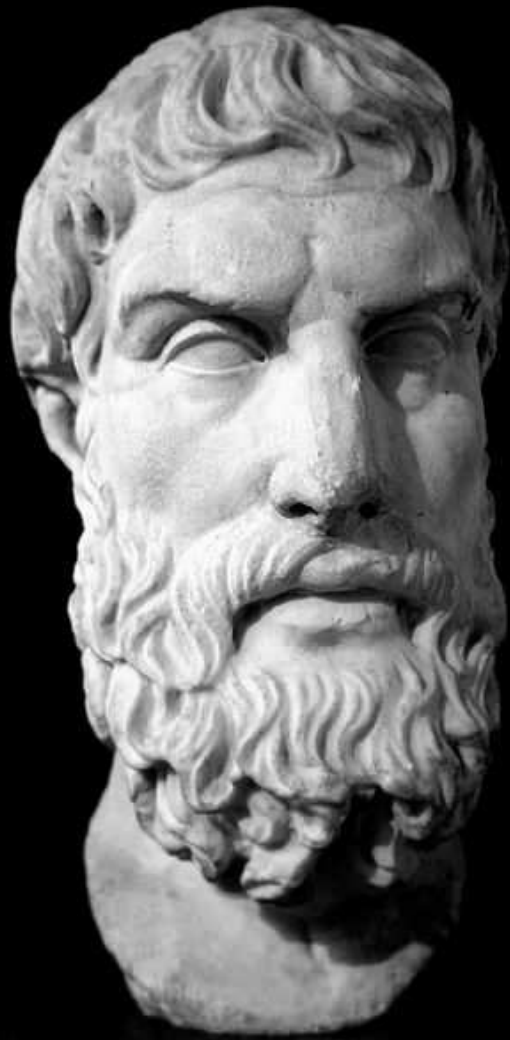


Epicuro

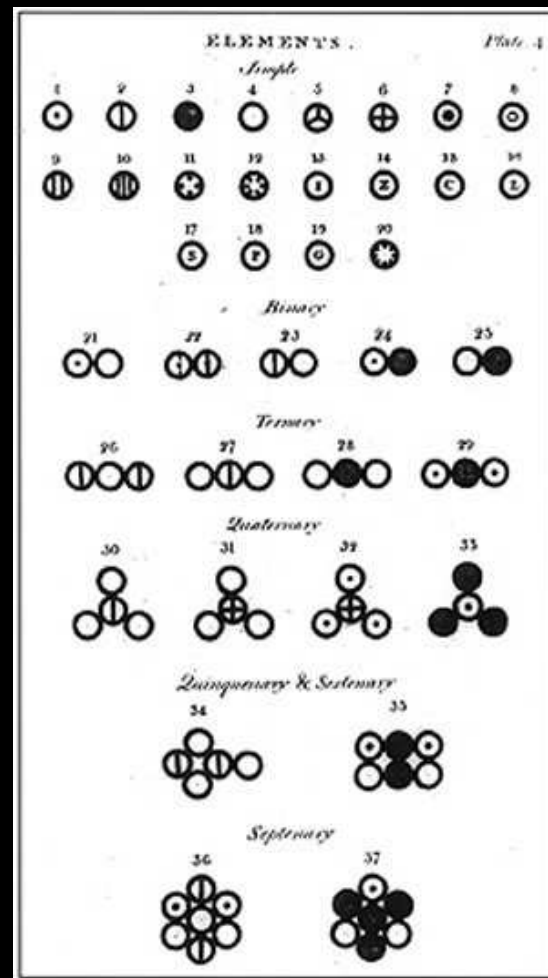
- Epicuro aceptó el atomismo porque su materialismo se oponía a la religión: el origen de todos los males.
- El poema de Lucrecio *De rerum natura* describe el atomismo y fue la forma en que la filosofía atomista llegó al Renacimiento.
- Su materialismo y vivos ataques a la religión atrajeron a los filósofos y científicos de la época.



Epicuro y Lucrecio



Dalton



El nuevo atomismo

- Dalton desarrolló el nuevo atomismo (1808).



El nuevo atomismo

- Dalton desarrolló el nuevo atomismo (1808).
- Los nuevos átomos tenían propiedades físicas y químicas bien definidas.



El nuevo atomismo

- Dalton desarrolló el nuevo atomismo (1808).
- Los nuevos átomos tenían propiedades físicas y químicas bien definidas.
- Sus predicciones podían contrastarse con la observación y corregirse.



El nuevo atomismo

- Dalton desarrolló el nuevo atomismo (1808).
- Los nuevos átomos tenían propiedades físicas y químicas bien definidas.
- Sus predicciones podían contrastarse con la observación y corregirse.
- Hubo fuerte resistencia contra el nuevo atomismo.



El nuevo atomismo

- Dalton desarrolló el nuevo atomismo (1808).
- Los nuevos átomos tenían propiedades físicas y químicas bien definidas.
- Sus predicciones podían contrastarse con la observación y corregirse.
- Hubo fuerte resistencia contra el nuevo atomismo.
- Desapareció cien años después de Dalton, con la teoría y experimentos sobre el Movimiento Browniano.



El Cambio



Cambio

- La ciencia moderna es **dinámica**: estudia el cambio.



Cambio

- La ciencia moderna es **dinámica**: estudia el cambio.
- El cambio es **rebelde**: difícil de analizar.



Cambio

- La ciencia moderna es **dinámica**: estudia el cambio.
- El cambio es **rebelde**: difícil de analizar.
- **Arquímedes** podía analizar el agua en reposo...



Cambio

- La ciencia moderna es **dinámica**: estudia el cambio.
- El cambio es **rebelde**: difícil de analizar.
- **Arquímedes** podía analizar el agua en reposo...
- pero nosotros **aun no podemos hacerlo** cuando se **agita el líquido**.





El cambio arcaico

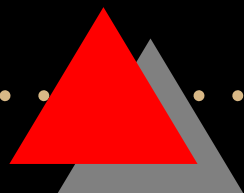
Cual generación de hojas, así la de
varones.

Hojas el viento por la tierra esparce, pero
la selva

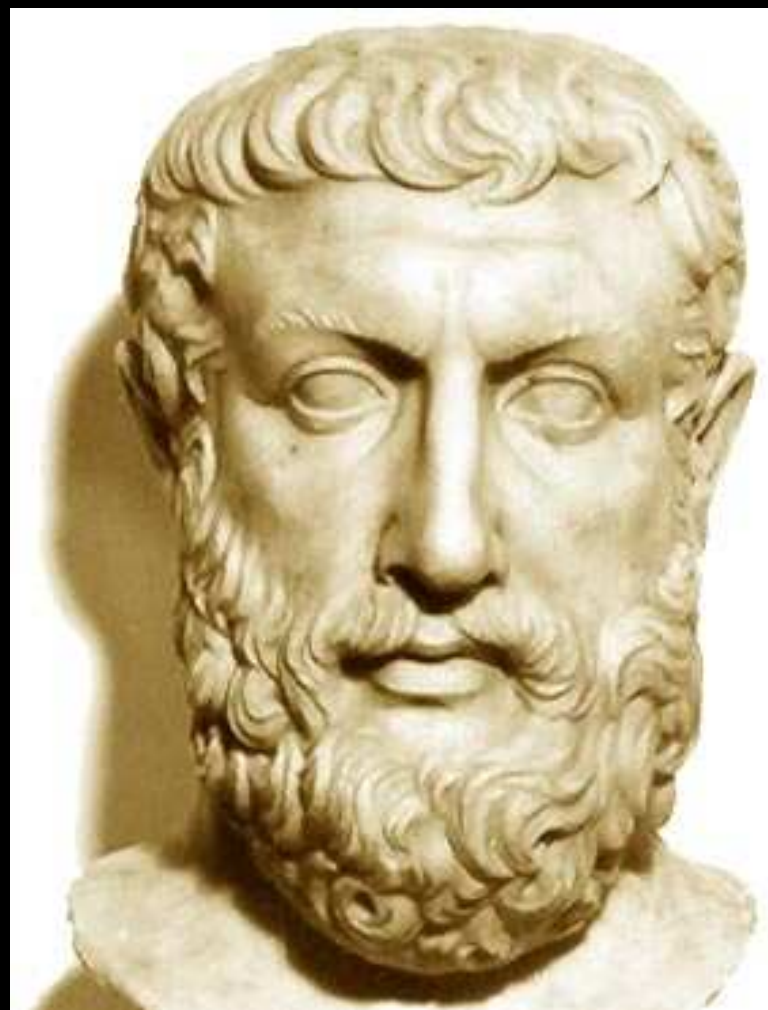
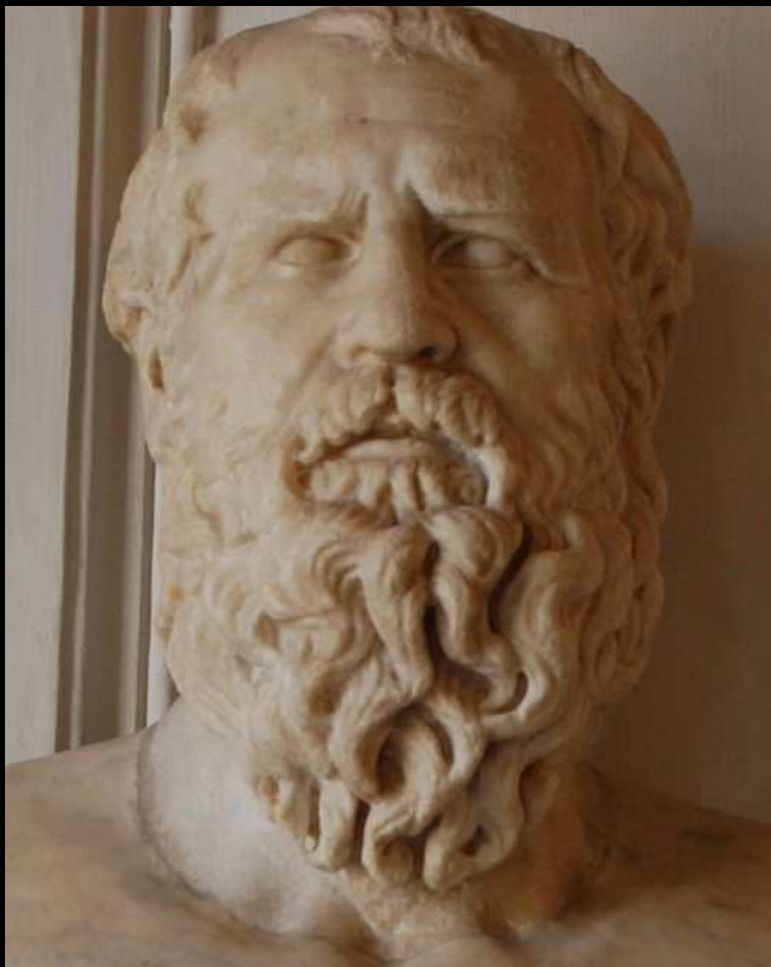
florecente las crea al llegar la siguiente
primavera.

Así, cuando una generación surge, otra
desaparece.

Homero, Iliada, VI, 146–9



Los rivales



Heráclito

- **91:** Porque no es posible entrar dos veces en un río que se dispersa, se reúne, se acerca y se retira.



Heráclito

- **91:** Porque no es posible entrar dos veces en un río que se dispersa, se reúne, se acerca y se retira.
- **30:** Este mundo, que es el mismo para todos, no lo hizo ningún dios o ningún hombre; sino que fue siempre, es ahora y será fuego siempre viviente, que se prende y apaga medidamente.



Heráclito

- **91:** Porque no es posible entrar dos veces en un río que se dispersa, se reúne, se acerca y se retira.
- **30:** Este mundo, que es el mismo para todos, no lo hizo ningún dios o ningún hombre; sino que fue siempre, es ahora y será fuego siempre viviente, que se prende y apaga medidamente.
- **52:** El tiempo es un niño que juega con los dados; el reino es de un niño.



Sófocles

Vecinos de mi patria Tebas, vean: a este
Edipo,
el que sabía el famoso enigma y era tan
poderoso
que a ningún ciudadano miraba con
envidia,
una gran ola de males ha sumergido.



Sófocles (II)

Así pues: **a ningún mortal**, mientras
esperamos
su día destinado, **se lo llame feliz antes**
de ver **cómo cruza el límite de su vida sin**
haber sufrido.

Sófocles, Edipo Rey, 1524–30



Borges

Torne a afirmar que **el fuego es la ceniza,**
La carne el polvo, el río la huida
Imagen de tu vida y de mi vida
Que lentamente se nos va de prisa.



Los eleatas

- Parménides y sus discípulos negaron el cambio.



Los eleatas

- Parménides y sus discípulos negaron el cambio.
- Zenón es el más próximo al pensamiento moderno.



Los eleatas

- Parménides y sus discípulos negaron el cambio.
- Zenón es el más próximo al pensamiento moderno.
- El movimiento conduce a contradicciones:



Los eleatas

- Parménides y sus discípulos negaron el cambio.
- Zenón es el más próximo al pensamiento moderno.
- El movimiento conduce a contradicciones:
- La flecha no se mueve ni donde está ni donde no está.



Aristóteles

- Física y matemática griega se ocuparon de objetos estáticos.



Aristóteles

- Física y matemática griega se ocuparon de objetos estáticos.
- Aristóteles desarrolló una teoría cualitativa del cambio.



Aristóteles

- Física y matemática griega se ocuparon de objetos estáticos.
- Aristóteles desarrolló una teoría cualitativa del cambio.
- En la esfera sublunar el cambio ocurría por generación y corrupción.



Aristóteles

- Física y matemática griega se ocuparon de objetos estáticos.
- Aristóteles desarrolló una teoría cualitativa del cambio.
- En la esfera sublunar el cambio ocurría por generación y corrupción.
- Había movimientos naturales (ascenso y descenso) y forzados (los otros).



Aristóteles

- Física y matemática griega se ocuparon de objetos estáticos.
- Aristóteles desarrolló una teoría cualitativa del cambio.
- En la esfera sublunar el cambio ocurría por generación y corrupción.
- Había movimientos naturales (ascenso y descenso) y forzados (los otros).
- Todo móvil necesita un motor para moverse.



El motor inmóvil

Un motor inmóvil origina toda la cadena de movimientos:

Y puesto que el motor debe ser eterno y no cesar nunca, es necesario que haya un primer motor... inmóvil.

La filosofía medieval, en sus mejores momentos, identificó al motor inmóvil con Dios:

l' amor che move il sole e l' altre stelle

Par. XXXIII, 145



Galileo y el movimiento

El análisis correcto del cambio pertenece a la edad de la razón y ayudó a originarla. Los primeros pasos certeros fueron las hipótesis de Galileo sobre la inercia:

Cualquiera que sea el grado de velocidad que se dé a un móvil, está por su propia naturaleza, indeleblemente impreso en él, con tal de que se eliminen todas las causas de aceleración o retardo...



El primer análisis del cambio

- Se afirma la existencia de un movimiento espontáneo: el movimiento inercial...



El primer análisis del cambio

- Se afirma la existencia de un movimiento espontáneo: el movimiento inercial...
- que demolía una de las demostraciones de la existencia de Dios.



El primer análisis del cambio

- Se afirma la existencia de un movimiento espontáneo: el movimiento inercial...
- que demolía una de las demostraciones de la existencia de Dios.
- Galileo estudió el movimiento de proyectiles



El primer análisis del cambio

- Se afirma la existencia de un movimiento espontáneo: el movimiento inercial...
- que demolía una de las demostraciones de la existencia de Dios.
- Galileo estudió el movimiento de proyectiles
- con rigor semejante a los trabajos de Arquímedes.



Newton y el movimiento

- La síntesis final de **Newton** resolvió el problema del movimiento.



Newton y el movimiento

- La síntesis final de Newton resolvió el problema del movimiento.
- La solución introducía la noción de función: una genuina creación de la edad de la razón.



Newton y el movimiento

- La síntesis final de Newton resolvió el problema del movimiento.
- La solución introducía la noción de función: una genuina creación de la edad de la razón.
- En cada instante, el móvil ocupa una posición única.



Newton y el movimiento

- La síntesis final de Newton resolvió el problema del movimiento.
- La solución introducía la noción de función: una genuina creación de la edad de la razón.
- En cada instante, el móvil ocupa una posición única.
- El resultado mostró que Zenón no se equivocaba:



Newton y el movimiento

- La síntesis final de Newton resolvió el problema del movimiento.
- La solución introducía la noción de función: una genuina creación de la edad de la razón.
- En cada instante, el móvil ocupa una posición única.
- El resultado mostró que Zenón no se equivocaba:
- ¡la flecha se mueve porque en cada instante está inmóvil!



Conclusión



Nuestra herencia

- La física moderna **ha heredado y aprovechado** muchas ideas y conceptos creados libremente por el genio griego,



Nuestra herencia

- La física moderna **ha heredado y aprovechado** muchas ideas y conceptos **creados libremente por el genio griego**,
- en especial por los **presocráticos** y los **alejandrinos**.



Nuestra herencia

- La física moderna **ha heredado y aprovechado** muchas ideas y conceptos **creados libremente por el genio griego**,
- en especial por los **presocráticos** y los **alejandrinos**.
- Junto con muchos otros ingredientes, **estas ideas integran nuestra visión actual del mundo**



Nuestra herencia

- La física moderna **ha heredado y aprovechado** muchas ideas y conceptos **creados libremente por el genio griego**,
- en especial por los **presocráticos** y los **alejandrinos**.
- Junto con muchos otros ingredientes, **estas ideas integran nuestra visión actual del mundo**
- pues las **teorías científicas** constituyen **la forma más precisa de una cosmovisión**.



Acerca de la ciencia

La ciencia no es una colección de leyes o un catálogo de hechos inconexos. Es una creación del espíritu humano por medio de ideas y conceptos libremente inventados. Las teorías físicas intentan formar una imagen de la realidad y conectarla con el vasto mundo de las impresiones sensibles.

Einstein & Infeld The evolution of physics



Los herederos

Somos buenos herederos de Grecia: no hemos despilfarrado su patrimonio sino que lo hemos enriquecido con nuestros aportes a la ciencia y a la filosofía. Una vez más, la comunicación entre distintos aspectos de la cultura (humanidades y ciencias naturales) se revela como fructífera.

