

Tema 72

El problema de la posición de la Tierra en el Universo.
Sistemas geocéntrico y heliocéntrico. Gravitación universal.
Peso de los cuerpos. Importancia histórica de la unificación
de la gravedad terrestre y celeste

Alberto Viñuela Miranda

Última edición: 11 de junio de 2023

Introducción

1

La ciencia de la Cosmología

1.1

¿Existe una disciplina que se encargue del problema de la posición de la Tierra en el Universo?

Sí. La **cosmología** es la ciencia que estudia el Universo y su evolución.

Los tres obstáculos que enfrentó

1.2

El problema de la cosmología es que **la posición de la Tierra es la misma que la del ser humano**. Por ello, a lo largo de su desarrollo, ha tenido que superar **tres grandes obstáculos**, resultado de los prejuicios derivados de nuestra subjetividad.

- El primero, el paso de una **explicación mítica** a una **científico-racional**.
- El segundo, la **unificación del Cielo y la Tierra** como única realidad.
- El tercero, y quizás el más complicado, el salto de un **universo minúsculo hecho para la humanidad**, a uno **inmenso donde quizás no seamos más que un accidente**.

Desarrollo

2

Antigüedad prejónica

2.1

Culturas primitivas

2.1.1

Dioses y fuerzas numinosas, mitos; "Caos Primordial"

2.1.1.1

Las **culturas primitivas** –en nuestro caso las prejónicas–, compartían una concepción del Universo poblado por **dioses y fuerzas numinosas** protagonistas de **mitos tanto cosmogónicos como cosmológicos**, donde el origen siempre era un **"caos primordial"**.

Universo animado, "Ombligos del Mundo"

2.1.1.2

Muchas tribus, incluso en la actualidad, concebían el **Universo como un ser vivo** o parte de él; por ejemplo, su estómago. La mayoría poseía algún tipo de "**Ombligo del Mundo**" o lugar sagrado que simbolizaba el centro del Universo.

Primeras civilizaciones

2.1.2

Egipto y Mesopotamia

2.1.2.1

Las primeras civilizaciones imaginaban una **Tierra plana** –cuadrada para las egipcias, circular para las mesopotámicas– que flotaba **sobre un gran océano**. En ellas, **el cielo era una cúpula** y bajo tierra había un **inframundo** más o menos infernal.

India

2.1.2.2

Las **culturas hindúes**, notablemente sofisticadas, iban mucho más allá. Ya hace 3.500 años, el **Rig Veda** mencionaba un Universo en **constante evolución**, destruido y reconstruido en **ciclos de miles de millones de años** llamados *kalpas*.

Patrones universales: Existencia de la relación Cielo-Tierra

2.1.3

Puertas Cósmicas

2.1.3.1

El **patrón común** de todas estas culturas era la creencia en una **profunda relación entre un Cielo divino y una Tierra humana**. Esta conexión se realizaba a través de **puertas cósmicas**: En el caso de los egipcios, en el polo norte astronómico, aparentemente inmóvil. En otras culturas, en montañas elevadas, como en el caso del Olimpo griego.

Astrología como ciencia fundamental

2.1.3.2

Otro **patrón universal** presente en todas las civilizaciones antiguas era la creencia en la **Astrología como ciencia fundamental**. Al respecto, resulta sorprendente que culturas alejadas entre sí compartieran modelos muy similares, como se comprueba al comparar sus **zodiacos** y los **roles** que asignaban al Sol, a la Luna y a cada uno de los cinco planetas conocidos por entonces.

Geocentrismo axiomático

2.1.3.3

Pero si algo empapa al pensamiento antiguo es un **geocentrismo axiomático**: Que la Tierra está inmóvil es, desde el pensamiento concreto, un hecho indiscutible.

Grecia y la Revolución del Pensamiento Abstracto

2.2

siglo VI adC: La Escuela Jónica

2.2.1

Es en el **siglo VI adC**, en Grecia, cuando surge la **Revolución del Pensamiento Abstracto**, ejemplificada en la **Escuela Jónica**. Las **cuestiones cosmológicas** comienzan, por fin, a plantearse de **forma racional** y no mítica, **comenzando por la propia forma de la Tierra**.

Tales, Anaximandro y Pitágoras: La forma de la Tierra

2.2.1.1

Tales de Mileto parte de una Tierra **plana** que su conciudadano **Anaximandro** imaginará **cilíndrica**, inventando de paso el concepto de "**antípodas**". Será **Pitágoras** el primero en afirmar su **esfericidad**, según historiadores posteriores.

siglo V adC: Explicaciones del Cielo

2.2.2

Demócrito

2.2.2.1

En el **siglo V adC**, **Demócrito de Abdera** plantea que la **Galaxia o Vía Láctea** –atención al nombre mitológico– que cruza el cielo nocturno está formada por **millones de estrellas** muy lejanas.

Eudoxo

2.2.2.2

Al mismo tiempo, **Eudoxo de Cnido** inventa el concepto de "**esferas celestes**" como soporte de las estrellas y los planetas.

Platón y la primera escisión de la Realidad

2.2.2.3

Pero entonces sucedió una **catástrofe intelectual**.

Platón de Atenas escinde la realidad en dos mundos: El **eídético-intelectual** y el **material-sensible**.

siglo IV adC: Aristóteles y la segunda escisión de la Realidad

2.2.3

En el **siglo IV adC**, su discípulo **Aristóteles de Estagira** aumenta la brecha proponiendo un **mundo supralunar**, hecho de **éter perfecto y eterno**, y otro **sublunar, mutable y corrupto**, compuesto por la **lucha entre los cuatro elementos**.

Consecuencias durante dos milenios

2.2.3.1

La autoridad de ambos **desligará la matemática de la física**, y el **Cielo de la Tierra**, durante los siguientes dos milenios.

Argumentos a favor de la esfericidad de la Tierra

2.2.3.2

No obstante, Aristóteles tuvo algún acierto. **Argumentó a favor de la esfericidad** de la Tierra poniendo como ejemplo los **mástiles de los barcos**, el cambio de la **posición de las estrellas con la latitud** o la **sombra de la Tierra durante los eclipses de Luna**.

Es de reseñar que la **creencia medieval en una Tierra plana** es solo un **mito** moderno.

Argumento falaz a favor del geocentrismo

2.2.3.3

Pero también defendió que al ser el **movimiento del cielo perfectamente circular**, la **Tierra** estaba necesariamente en el **centro del Universo**. ¡Que la Tierra rotara era simplemente impensable!

Explicación falaz del peso de los cuerpos

2.2.3.4

Del mismo modo, Aristóteles explicó el **peso de los cuerpos** como la "**tendencia del elemento Tierra a acercarse al centro del Universo**".

siglo III adC: Primeras mediciones 2.2.4

Aristarco y el primer heliocentrismo 2.2.4.1

En el **siglo III adC Aristarco de Samos** mide la **distancia de la Tierra al Sol** (400 veces la de la Tierra a la Luna) y propone un **heliocentrismo** que no cuajó.

Eratóstenes y Arquímedes 2.2.4.2

En el mismo siglo, **Eratóstenes de Cirene** calcula la **circunferencia de la Tierra con gran exactitud**, y **Arquímedes de Siracusa** el del **Universo**. En su libro *"El Contador de Arena"*, le atribuye un **diámetro mínimo de 2 años-luz** –usando otras medidas– basándose en la ausencia de paralaje estelar.

siglo I: El modelo de Ptolomeo 2.2.5

Ya en el **siglo II** de nuestra era, **Claudio Ptolomeo** establece su modelo, que regirá la Cosmología de los próximos 1500 años. En él, una Tierra esférica de solo **29.000km** de circunferencia –confundió los estadios griegos de Eratóstenes con los romanos– es el **centro del Universo**. Todo lo demás girará alrededor en **órbitas perfectamente circulares**, justificando los **movimientos retrógrados** de los planetas con complicados artefactos matemáticos: el **deferente**, la **ecuante** y los **epiciclos**.

No obstante, el propio Ptolomeo, con alma positivista, reconoce que su modelo solo tiene **carácter práctico** y no es ningún tipo de verdad.

Sin novedades durante 1.500 años 2.2.6

Desde entonces y **hasta el siglo XVI no habrá cambios de paradigma** relevantes.

El caso anecdótico de Nahmánides 2.2.6.1

Cabe mencionar, como anécdota, que el pensador judeoislámico **Nahmánides** propuso en el **siglo XIII** la idea del **Big Bang** basándose en la **Torah**, y un **Universo de diez dimensiones** basándose en la **Cábala**; pero sin ningún fundamento científico real.

Modernidad 2.3

1543: Copérnico y el heliocentrismo 2.3.1

Es en **1543** cuando **Nicolás Copérnico** publica su *"De la Revolución de los Cuerpos Celestes"*. En él recupera el **heliocentrismo** de Aristarco, pero en otros aspectos no aporta novedades, como asegura Arthur Koestler en su libro *"Los Sonámbulos"*. De hecho, su modelo es más complicado aún que el de Ptolomeo y el Sol ni siquiera está en el centro.

Pero su propuesta fue tan rupturista que la palabra "Revolución" acabó asumiendo su connotación actual.

1588: Brahe y el heliogeocentrismo 2.3.2

En **1588 Tycho Brahe** propone un modelo de transición, **geocéntrico para el Sol y la Luna y heliocéntrico para los demás cuerpos**, atado todavía a la creencia de que la Tierra solo puede estar inmóvil.

1600: Muerte de Giordano Bruno

2.3.3

Casi al mismo tiempo **Giordano Bruno** propone un **Universo infinito y no jerárquico** donde las **estrellas** no serían más que **otros soles con otras Tierras**. Vilipendiado, fue quemado en 1600 por defender la herejía de que había tantos Cristos como mundos.

Primeras rupturas con el Universo aristotélico

2.3.3.1

Estas **primeras rupturas** con el Universo aristotélico está descrita en el libro **"Del Mundo Cerrado al Universo Infinito"** (1962) de **Alexander Koyré**.

1600: Galileo Galilei

2.3.4

Principio de Relatividad

2.3.4.1

La verdadera revolución la inicia **Galileo Galilei** en su libro de 1600 **"Le Meccaniche"**, donde plantea su **Principio de Relatividad**, haciendo por fin **pensable** la idea de una **Tierra no estática**.

1610: "Sidereus Nuncius"

2.3.4.2

Su **mejora del telescopio**, inventado originalmente por los holandeses, le permitirá observar el cielo como nunca antes. En su **"Sidereus Nuncius"** de 1610 describirá:

- Los **cráteres** de la **Luna**.
- Las **manchas** del **Sol**.
- Los **satélites jovianos**.
- Los **anillos de Saturno**.

Dinamitando la concepción aristotélica del mundo.

1609-1619: Leyes de Kepler

2.3.5

Ese mismo año **Kepler** propone las dos primeras de sus famosas leyes, confirmando que las **órbitas planetarias son elípticas**, y su **movimiento variable**. Con él, el pensamiento antiguo quedará herido de muerte.

Era científica

2.4

1687: "Principia Mathematica"

2.4.1

Unificación de los mundos

2.4.1.1

La revolución definitiva llega en 1687 con los **"Principios Matemáticos de Filosofía Natural"** de **Isaac Newton**, el libro más importante del último milenio. En él se **unifican finalmente** las **dinámicas terrestre y celeste**.

El mito de la manzana

2.4.1.2

De hecho, el **mito de la manzana** ilustra como Newton dedujo que la misma fuerza que atraía el fruto a la Tierra era la misma que ligaba el Sol a los planetas.

Explicación de las elipses de Kepler

2.4.1.3

Aunque no le hizo gracia la idea de "acción a distancia", su propio "cálculo de fluxiones" mostró que **una fuerza central inversamente proporcional al cuadrado de la distancia** explicaba las **elipses de Kepler**.

1798: Cavendish y la medición de G

2.4.1.3.1

Aunque no será hasta **1798** cuando **Henry Cavendish** mida la **constante gravitatoria** con su famosa balanza de torsión.

El peso de los cuerpos

2.4.1.4

Por otra parte, el **peso de los cuerpos** pasó a ser una **manifestación** de la **fuerza gravitatoria** de la Tierra.

Unificación de los mundos

2.4.2

Aristóteles superado

2.4.2.1

Aristóteles había sido superado definitivamente, y **Cielo y Tierra reunidos** de nuevo tras **dos milenios de divorcio**.

Consecuencias

2.4.2.2

Sabiendo que las leyes terrestres eran las mismas que las celestes, ahora era **posible estudiar desde nuestro rincón la totalidad del Universo**. Éste se había convertido en un **espacio euclídeo estructurado por la gravedad de los cuerpos**, con **nosotros/as sometidos a las mismas leyes**.

A partir de entonces, nuestro **marco de referencia solo pudo crecer** cada vez más.

1785: Herschel y la naturaleza de la Vía Láctea

2.4.3

En **1785 William Herschel** confirma observacionalmente que la **Vía Láctea está formada por estrellas** y **deduce erróneamente**, por su distribución, que **el Sistema Solar está en el centro y nuestra galaxia es todo el Universo**.

siglo XIX

2.4.4

Tras Herschel, se producirá **una pausa en el avance de la cosmología** que durará hasta entrado el siglo XX, con excepciones como la demostración de **Olbers** de que el Universo es **finito** o la confirmación mediante **espectroscopia estelar** de que la **química cósmica** es idéntica a la terrestre.

Mientras tanto, el **desarrollo de otras ciencias y tecnologías** –especialmente del **electromagnetismo**– preparará el camino venidero.

Siglo XX

2.5

1915: Teoría General de la Relatividad

2.5.1

En **1915 Albert Einstein** publica su "**Teoría General de la Relatividad**". Supone todo un terremoto conceptual. Por fin la "**acción a distancia**" abominada por Newton se puede justificar por la **deformación de un espaciotiempo no euclídeo**.

Pero hay un **problema insalvable**. Las ecuaciones postulan un **espacio en expansión**. Einstein las "arregla" añadiendo una **constante cosmológica** que estropea su elegancia.

1918: Shapley

2.5.2

En **1918 Harlow Shapley** comprueba, por la **distribución de los cúmulos globulares** que rodean a la Vía Láctea, que nos hallamos a unos **27.000 años-luz** de su centro.

1920: El "Gran Debate"

2.5.3

Simultáneamente surge el conocido como **"Gran Debate"**. ¿Es la **Vía Láctea todo el Universo**, o existen las **"nebulosas extragalácticas"**?

Edwin Hubble

2.5.4

1923: Medición de la distancia a Andrómeda

2.5.4.1

Será el gran **Edwin Hubble** quien zanje la cuestión. Utilizando las estrellas **cefeidas** como **"candelas estándar"**, en **1923** mide la **distancia a la nebulosa de Andrómeda**, descubriendo que se encuentra a **dos millones de años-luz**.

1929: Corrimiento al Rojo

2.5.4.2

Pero su hallazgo más notable es en **1929**. Midiendo el **efecto Doppler** en la luz de las **"nebulosas espirales"**, Hubble confirma que, como predecían las ecuaciones de la Relatividad General, el **Universo se expande**.

Big Bang

2.5.4.2.1

Solo había una explicación posible. El Universo había nacido necesariamente de una **gigantesca explosión** a partir de un punto donde toda la masa y energía estaban concentradas.

Esta **hipótesis** fue inicialmente **desdeñada**. Hasta el nombre **"Big Bang"** fue acuñado de modo despectivo por **Fred Hoyle**, otro gran astrónomo. Pero la expansión del Universo era innegable. **Einstein** acabó renegando de la constante cosmológica calificándola **"el mayor error de su vida"**.

Hallazgos posteriores

2.5.5

La ciencia de la cosmología no se detuvo aquí.

Materia oscura

2.5.5.1

Poco después, en **1933**, **Fritz Zwicky** propuso la existencia de **"materia oscura"** para justificar la existencia de **cúmulos galácticos**, que fue finalmente demostrada en **1978** por **Vera Rubin** estudiando el propio **giro de las galaxias**.

Fondo Cósmico de Microondas

2.5.5.2

En **1965 Wilson y Penzias** descubrieron el **CMB** o **Fondo Cósmico de Microondas**, el calor de los rescoldos del **Big Bang**, quedando así confirmado.

Energía oscura

2.5.5.3

En **1998** las mediciones de **distancia a supernovas del tipo Ia** confirmaron que el Universo no solo se **expande**, sino que posee una "**energía oscura**" que lo hace **de modo acelerado**, contra toda lógica. La **constante cosmológica sí tenía sentido**, pero no del modo esperado.

siglo XXI

2.6

Tamaño del Universo

2.6.1

En la actualidad sabemos que el Universo tiene unos **13.800** millones de años-luz de **radio observable o aparente**, y **46.500** de **radio comóvil o apropiado**. La segunda cifra se deduce de aplicar la expansión de Hubble a las zonas más remotas.

Aplicado en el aula

2.6.1.1

Creo que la manera más efectiva de **transmitir la escala cósmica** a nuestro alumnado de 4º de ESO es el empleo del cortometraje "**Potencias de 10**", tanto en su versión original como alguna de las modernas. Les sirve además para refrescar el concepto de función exponencial.

Lambda-CDM

2.6.2

El modelo imperante es el **lambda-CDM**. Lambda es la constante cosmológica, símbolo de la energía oscura, y CDM son las siglas de "*Cold Dark Matter*" o "materia oscura fría".

Conclusión

3

Lección de humildad

3.1

Y así, **tras 2500 años**, los seres humanos aprendimos finalmente una **lección de humildad**.

Como **especie**, nos creímos en el **centro de todo**. Lo más risible es que cada empujón que nos apartaba de ese supuesto centro solo servía para resituarnos cerca de él. Así, **cuando la Tierra dejó de ser el centro, pasó a serlo el Sol. Después, la Vía Láctea. ¿Y después?**

¿Multiversos?

3.2

Ahora **asumimos** que el **Universo es único**. Pero es posible que, en el futuro, nuevos descubrimientos confirmen que éste solo es parte de un **Multiverso** más amplio, como propone **Alan Guth**, padre de la **Teoría Inflacionaria**.

Si eso ocurre, habrá quien vuelva a situar el nuestro en el centro de los demás. Pero, como la historia demuestra, finalmente **surgirán nuevas evidencias** que nos colocará en la esquinita que nos corresponde.

La grandeza de la cosmología

3.3

En cualquier caso, **descubrir que somos muy pequeños** es un lugar **inimaginablemente vasto** es una **hazaña tan grande** como el Universo mismo.