



FACULTAD DE FILOSOFÍA

GRADO EN FILOSOFÍA

*El universo de Hubble: implicaciones filosóficas de la
cosmología contemporánea*

Trabajo de Fin de Grado presentado por Fernando Raúl Rosado Carmona

Tutora: María de Paz Américo

Sevilla, junio de 2022



FACULTAD DE FILOSOFÍA

GRADO EN FILOSOFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO / CURSO ACADÉMICO [2021-2022]

TÍTULO: El universo de Hubble: implicaciones filosóficas de la cosmología contemporánea

AUTOR: D. Fernando Raúl Rosado Carmona

TUTORA: Dra. Dña. María de Paz Amérigo

DEPARTAMENTO: Filosofía y Lógica y Filosofía de la ciencia

RESUMEN: La historia de la cosmología está cargada de modelos que se han presentado a lo largo de los siglos con la intención de explicar el funcionamiento de nuestro universo. Estos modelos han estado en constante desarrollo y evolución. En el siglo XX, la investigación de Hubble sobre la medición de distancias entre galaxias, permitió elaborar un nuevo modelo conocido como del *universo inflacionario*. Aunque este nos permite resolver varios problemas de índole físico, no ocurre lo mismo con determinadas problemáticas filosóficas que aún continúan en debate.

ABSTRACT: The history of cosmology is full of models that have been proposed the centuries with the intention of explaining the functioning of our universe. These models have been in constant development and evolution. In the 20th century, Hubble's research on measuring the distances between galaxies led to the development of a new model known as the inflationary universe. This allows us to solve several physical problems, but the same does not happen with certain philosophical problems that are still under discussion.

TÉRMINOS CLAVE: Cosmología física; universo inflacionario; singularidad; ajuste fino; representación.

KEY WORDS: Physical cosmology; inflationary universe; singularity; fine tuning; representation.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	5
2. LA COSMOLOGÍA A INICIOS DEL SIGLO XX	6
2.1 Einstein y un nuevo horizonte	7
3. LA IMPORTANCIA DE LOS DATOS EN COSMOLOGÍA FÍSICA	11
3.1 El efecto Doppler	13
3.2 El corrimiento al rojo y la constante de Hubble	15
4. EL MODELO INFLACIONARIO	20
5. LA OBSERVACIÓN	25
6. LA DIFICULTAD PARA DESARROLLAR MODELOS INTUITIV	30
7. LA ETERNIDAD Y NUESTRAS REPRESENTACIONES	33
8. EL AJUSTE FINO DEL UNIVERSO	39
8.1 Críticas a la tesis del ajuste fino	41
8.2 Explicaciones alternativas	42
9. CRÍTICAS AL MODELO INFLACIONARIO	44
10. CONCLUSIONES	47
11. BIBLIOGRAFÍA	48
11.1 Ilustraciones	51

A mi familia, en especial a María del Valle y Antonio, gracias por creer en mí.

A María, gracias por todo lo que me has enseñado.

1. INTRODUCCIÓN

La cosmología se construye en base a modelos que tienen la finalidad de explicar el universo que nos rodea. En la Grecia clásica, estos modelos contenían una alta dosis de mitología con la que pretendían dar solución a muchos de los fenómenos que observaban en el firmamento como eclipses, ciclos lunares o constelaciones. Poco a poco, estas interpretaciones míticas fueron abandonadas y sustituidas por una minuciosa y exhaustiva observación de la naturaleza. La física comenzó entonces a tener especial relevancia y, ya desde Aristóteles, se incorpora en el desarrollo de los modelos cosmológicos. En el siglo XVI, con la Revolución Científica iniciada por Copérnico, la cosmología sufrirá un profundo cambio que culminará en los siglos XX y XXI con el desarrollo de modelos profundamente matematizados.

El presente trabajo de fin de grado pretende realizar una aproximación a los modelos que se han desarrollado en las últimas décadas, especialmente al universo inflacionario. Este nace, en buena medida, gracias a las aportaciones físicas del cosmólogo Edwin Hubble. Sus trabajos para determinar la distancia a la que se encontraban un grupo de brillantes estrellas en una nebulosa lejana, le llevó a comprobar que las galaxias, lejos de ser parte de nuestro propio sistema, eran objetos espaciales independientes y que, además, se estaban alejando unos de otros. En base a esto, perseguiremos dos objetivos principales en nuestro análisis: por un lado, vamos a realizar una presentación de la forma en la que se constituye el modelo cosmológico inflacionario y las razones que motivaron a los diferentes investigadores a seguir la línea de trabajo de Hubble; por otro, debatiremos cuestiones filosóficas acerca de la dificultad de comprensión general que muestran los modernos diseños matematizados.

Seguiremos una metodología de estudio histórica, pero tengamos en cuenta que la razón de esto es simplemente didáctica. El hecho de seguir un orden cronológico de los acontecimientos, nos permitirá realizar un acercamiento ordenado y esquematizado a la problemática principal. También abordaremos algunas cuestiones analíticas relacionadas con el lenguaje y, en ocasiones, recurriremos a la clásica dialéctica socrática con el fin de que determinadas preguntas nos vuelvan a reorientar en el fondo del asunto. Esta metodología de estudio híbrida enriquece notablemente nuestras posiciones y nos aleja de reduccionismos innecesarios, posibilitando, a su vez, una mayor comprensión de los problemas expuestos.

2. LA COSMOLOGÍA A INICIOS DEL SIGLO XX

Los cosmólogos de finales del siglo XIX e inicios del XX, se convirtieron en los herederos de un extraordinario trabajo observacional, experimental y teórico desarrollado por las grandes mentes de la revolución científica en los albores de la Edad Moderna.

El modelo geocéntrico dominó el panorama intelectual durante milenios. Por un lado, la observación empírica parecía dar la razón a sus partidarios; y, por otro, el respaldo de figuras como Ptolomeo o Aristóteles a esta teoría dificultaba en extremo su crítica. La Grecia clásica, así como la Europa escolástica, aceptaron de buen grado los escritos y volúmenes publicados en defensa de este esquema antropocéntrico. Con la llegada de Copérnico aparecerán los primeros intentos serios por construir un modelo alternativo.

En esa tarea participó, de forma activa, Tycho Brahe y su equipo, quienes recogieron de forma sistemática los procesos de cambio, apenas perceptibles a simple vista, que se producían en las órbitas de estrellas y planetas. Con base en ellos, Johannes Kepler pudo desarrollar sus famosas leyes del movimiento planetario. De manera casi simultánea, Galileo Galilei afinó el instrumento de observación por excelencia en astronomía: el telescopio, lo que permitió observar con detalles algunos aspectos de nuestro Sistema Solar que permanecían ocultos por la distancia.

Las ideas aristotélicas de un cosmos sublunar dominado por la imperfección y el caos, frente a otro supra lunar donde reinaban la perfección y la regularidad, quedaban totalmente desacreditadas. De igual modo, el sistema de epiciclos de Ptolomeo, que pretendía explicar el porqué de ciertos fenómenos celestes como los movimientos de Mercurio o Venus, se antojaba incompleto e insuficiente.

Isaac Newton se ayudó del trabajo de Kepler y reformuló las leyes del movimiento y, con ello, toda la mecánica clásica. Además, su teoría de la gravitación universal abrió todo un abanico de posibilidades cosmológicas y físicas con las que explicar mejor el universo que podíamos ver desde nuestro planeta.

A lo largo del siglo XIX se abre paso una física matemática que acabará por constituirse como disciplina autónoma del saber. Motivados por la mecánica de Newton, esta física planteará sus propios problemas y aportará soluciones alejadas de toda especulación. Su objetivo es el de sostenerse, principalmente, en la evidencia empírica. Los físicos no solo vendrán a ocuparse de cuestiones cosmológicas como el origen o desarrollo del universo, sino que también fijarán

su atención en la composición más elemental de la materia buscando pistas que les permitan explicar los grandes fenómenos. Es el caso, por ejemplo, del electromagnetismo desarrollado, entre otros, por Faraday, Ampère y, principalmente, James Clerk Maxwell. Este último, aunque no pudo comprobarlo, vaticinó que existen ondas electromagnéticas y que estas se mueven a diferentes velocidades independientemente del observador. Años después, en 1887, un experimento llevado a cabo por Rudolf Hertz comprobará la mencionada teoría. Esta se convertirá en un elemento indispensable para las formulaciones que tendrán que hacer a lo largo del siglo XX otros científicos como Hubble o Einstein (Mason, 1986).

A diferencia de épocas pasadas donde el científico trabajaba de forma individual o, como mucho, en compañía de algún notable discípulo, ahora la ciencia dirige sus esfuerzos a través de la comunidad. Las instituciones públicas y organizaciones privadas dedicadas a la ciencia premian el trabajo en equipo al ser este mucho más completo, económico y sólido. El electromagnetismo debe sus avances al trabajo en equipo, igual que otra gran área de la física que se convertirá en fundamental para la cosmología del siglo XX: la termodinámica o teoría del calor. Podemos destacar a Joule, Kelvin, Helmholtz, Clausius o Boltzmann que desarrollarán conceptos elementales como temperatura, energía o entropía que se utilizarán para articular, en buena medida, los modernos principios de la termodinámica. Las leyes de Newton, el electromagnetismo y los principios de la termodinámica proporcionan, por primera vez en la historia, un conocimiento matemático del funcionamiento del cosmos. La cosmología moderna ha descartado por completo a estas alturas cualquier intento mitológico, esotérico o especulativo de explicación del universo y sus fenómenos. Todos los modelos explicativos anteriormente presentados son descartados y sustituidos por diseños físico-matemáticos empíricos y soportados por dos fuertes pilares: observación y experimentación. La filosofía, acostumbrada a una forma paciente y teórica de trabajar, no supo adaptarse a los primeros compases de esta física extremadamente acelerada. Tardará un tiempo en recomponerse y comenzar a labrar su nuevo camino.

2.1 Einstein y un nuevo horizonte

Antes de abordar de lleno la cosmología de Hubble y sus implicaciones filosóficas, debemos realizar una parada obligada en una figura que ganó, por méritos indiscutibles, un lugar en la historia de la ciencia: Albert Einstein. Su obra es amplia y de una extraordinaria complejidad.

A diferencia de algunos de los pensadores que hemos visto hasta el momento, el modelo cosmológico de Einstein se encuentra fuertemente matematizado:

Einstein abordó el estudio del tiempo y del espacio, de la masa y la energía, y de sus relaciones, y con ellas fue capaz de formular por primera vez un modelo matemático de universo que iba más allá de nuestro conocimiento limitado por las observaciones. [...] establecerá la nueva visión del cosmos que ha sobrevivido en gran medida hasta la actualidad. (Sanromà, 2012, p. 28)

En 1905 publicó su Teoría de la Relatividad Especial (o restringida) En ella, incorpora un marco teórico que se sostiene sobre unos postulados físicos básicos, así como en los conceptos y fenómenos que estudiaron con anterioridad Henri Poincaré y Hendrik Lorentz. Recordemos que, a lo largo del siglo XIX, los científicos consideraban de forma general que la mecánica clásica instaurada por Newton, y que se basaba en los presupuestos matemáticos de Galileo, describía sobradamente bien los conceptos de velocidad y fuerza que interactúan en todos los cuerpos celestes. Sin embargo, las nuevas teorías que explicaban las interacciones entre fuerzas electromagnéticas demostraron que las transformaciones de las que habló Galileo no funcionaban cuando el sistema de referencia inercial cambia. Se propuso una solución y era considerar que el *éter* influía, de alguna forma, sobre la velocidad de la luz y que, por tanto, los resultados quedaban alterados. Tengamos en cuenta que este *éter* nada tiene que ver, salvo en el nombre, con aquella quintaesencia de la que habló Aristóteles y que conformaba la materia de los astros supra lunares. En este caso, se trata del medio por el que se propaga la luz. Poco después, sin embargo, los científicos Michelson y Morley diseñaron un famoso experimento que probó, no solo que el *éter* no era necesario para la propagación de la luz, sino que su velocidad se mantenía constante e independiente al observador. No todos los científicos que tuvieron la oportunidad de analizar los resultados del experimento estuvieron de acuerdo con esta interpretación, muchos, incluso, la cuestionaron seriamente. Pero lo importante aquí es que Einstein tenía en mente esta discusión cuando propuso un giro radical en la comprensión del espacio y el tiempo basando su argumento en dos puntos: la constante de la velocidad de la luz para cualquier sistema de referencia y el principio de relatividad. La teoría presentaba una equivalencia entre masa y energía que permitió realizar curiosas y prácticas predicciones (Sanromà, 2012).

Las ideas básicas que debemos tener claras en este punto son dos:

1º) La velocidad de la luz es constante en el vacío, independientemente del sistema referencial que tomemos para medirla: unos 300 mil kilómetros por segundo.

2º) El tiempo y el espacio no son categorías absolutas, al contrario, su percepción es relativa al observador.

La relatividad especial es la base sobre la que trabajará Einstein en los años posteriores. Entre 1915 y 1916 hará pública una segunda teoría, más amplia y explicativa, que denominó como Teoría de la Relatividad General. Einstein propone que la propia geometría del espacio y el tiempo se ve alterada por la presencia de materia en enormes cantidades, es decir, la de los planetas y estrellas, pero también la de aquellos cuerpos que hasta ahora no habíamos tenido en cuenta, como los asteroides o cometas. De este modo obtenemos un modelo relativista del campo gravitatorio.

La idea que se desprende esto, y que modificará por completo los modelos cosmológicos en los años venideros, es que el enorme peso de planetas y estrellas deforma ese tejido espacio-tiempo creando una curvatura que influye, decisivamente, en la órbita de los cuerpos celestes (Rioja y Ordóñez, 2006).

En 1917, Einstein decidió aplicar su teoría general al conjunto del universo, dando lugar a una nueva cosmología relativista. El científico alemán trabajó bajo un paradigma teórico tradicional en el que se consideraba al universo como estático, es decir, que permanecía igual a lo largo de los siglos. Para reproducir o mantener esa visión, introdujo una constante cosmológica que le traería varios quebraderos de cabeza. Podemos explicar esta constante de la siguiente manera:

“[se trata de] un nuevo término [cuya] misión, ad hoc, era contrarrestar la atracción gravitatoria de toda la materia. En términos newtonianos, podríamos decir que se trataría de una fuerza repulsiva. Como consecuencia, el primer modelo cosmológico matemático era un modelo estático en el que se introducía la constante cosmológica para contrarrestar la atracción de toda la materia del Universo.” (Sanromà, 2012, p. 29)

Sin embargo, en 1922, Aleksander Friedman encontró una solución para la expansión cosmológica que hacía innecesaria la constante de Einstein.

Edwin Hubble es quien, finalmente, resolvería la cuestión. Midió con precisión algunas estrellas cefeidas que se encontraban en lejanas nebulosas, concluyendo que, en realidad, pertenecían a galaxias que eran independientes de nuestra Vía Láctea. Posteriormente, y con base en las observaciones espectrales de Vesto Melvin Slipher, consiguió demostrar que estas se alejaban de nosotros. Si tenemos en cuenta el primero de sus grandes descubrimientos, este último cobraba una inesperada relevancia (Sanromà, 2012). Teniendo en cuenta esa naturaleza

extra galáctica de las nebulosas, y su velocidad de alejamiento, pudo concluir que el universo se encontraba en expansión.

3. LA IMPORTANCIA DE LOS DATOS EN LA COSMOLOGÍA FÍSICA

La cosmología física moderna trabaja, en gran medida, con datos. En este momento, las mediciones, las referencias o cualquier otra reseña que nos permitan articular los modelos, diseños y mapas celestes se vuelven increíblemente importantes. Además de esta, necesitamos también una sistemática observación del universo y sus fenómenos, así como un trabajo en equipo que permita elaborar las más completas y predictivas teorías. Pero, de entre todas las necesidades que demanda la cosmología actual, hay una que destaca por encima del resto: los instrumentos precisos de medición. No solo nos referimos al telescopio, sino también a satélites o detectores de radiofrecuencia. Se trata de un instrumental valorado en cientos de millones de euros, manejados por personal muy cualificado y que trabaja bajo la coordinación de instituciones gubernamentales financiadas con el dinero de los contribuyentes. Una compleja maquinaria dedicada por entero a la búsqueda del conocimiento.

Pero tomar todos esos datos y medidas, compararlos, depurarlos, aplicarlos y comprobarlos sobre un modelo no es tarea sencilla, ni rápida. Se necesitan meses, años incluso, para obtener datos relevantes acerca del movimiento, brillo o evolución de una estrella. Tengamos en cuenta que, si nos situamos bajo el cielo estrellado en una despejada noche de verano, el firmamento no parece cambiar mucho de un día para otro. De hecho, si volvemos al mismo punto un año después, o diez o cien, todo seguirá prácticamente igual. Es cierto que, si nos fijamos detenidamente, podemos observar ciertos cambios en el conjunto celeste como los ciclos lunares o las diferentes trayectorias de las estrellas, pero, desde nuestra perspectiva, pareciese que el universo es perfecto, ordenado y está sujeto a un orden imperceptible al ojo humano.

Hoy día, no obstante, sabemos que las estrellas se mueven a velocidades rapidísimas. Algunas de ellas, por ejemplo, pueden recorrer cientos de kilómetros en un solo segundo, (Rioja, y Ordóñez, 2006) de modo que, en un año, habrán viajado algo más de diez mil millones de kilómetros. Entonces ¿por qué no percibimos ese desplazamiento desde aquí? La razón es que esa distancia que la estrella recorrió en un año es apenas una pequeña fracción de la distancia que se encuentra entre ella y nosotros. Así, su movimiento aparente en el cielo es prácticamente indetectable al ojo humano. Estamos tan, pero tan lejos, que apenas podemos percibirlo. Una cosa es su *movimiento real*, y otra, bien distinta, su *movimiento aparente*.

Estos primeros datos estelares, que se estudiaron y sistematizaron durante años, borraron de un plumazo la idea Aristotélica de un universo inmutable y ordenado. Sirva esta pequeña

introducción para tomar conciencia del cambio de paradigma que vivimos bajo la cosmología física que inauguró Einstein.

Medir distancias es, como hemos comentado, una tarea complicada y no siempre da resultados exactos. Sobre la Tierra, un científico puede medir con gran exactitud y relativa facilidad magnitudes tales como distancia, velocidad, masa o volumen. Pero en el cosmos, dadas las enormes distancias que nos separan, obtener estos datos no es tarea sencilla. No podemos tomar nuestra cinta métrica e ir de un punto A al punto B y, simplemente, observar el resultado. Tampoco podemos pasarnos por nuestro laboratorio para realizar un experimento sobre el volumen de un astro. Entonces ¿cómo estamos tan seguros de que las distancias con las que trabajamos hoy día son las correctas? Bien, no hay una única respuesta a esta pregunta, de hecho, existen varios métodos que nos permiten establecer las distancias entre objetos celestes.

Recordemos, por ejemplo, que en el siglo II a.C., Hiparco de Nicea logró realizar una hazaña increíble: consiguió estimar que el tamaño de la Luna era de aproximadamente un cuarto del tamaño de la Tierra. No solo esto, sino que además se aventuró a asegurar que existía una distancia entre ambos cuerpos de 414.000 km. Bien, hoy sabemos que el diámetro de la Luna es de 3496 km, es decir, prácticamente un cuarto del nuestro; además, la distancia que se halla entre ambos cuerpos es de 380.000 km, muy cerca de la cifra dada por Hiparco. No hay truco escondido, el griego únicamente se ayudó de relaciones trigonométricas que dedujo de algunos eclipses solares y lunares que pudo observar en su juventud.

Utilizando también la trigonometría, Copérnico calculó la distancia a algunos de los planetas conocidos en su momento. Distancias que luego corrigió Kepler. No solo esto, en 1672 los astrónomos Jean Richer y Giovanni Cassini, situados uno en París y el otro en la Guayana Francesa, midieron simultáneamente la posición de Marte y lograron determinar su paralaje, gracias a lo cual establecieron la distancia del planeta rojo al Sol: 140 millones de km, solo un diez por ciento de error.

Este mismo sistema de medición, conocido como *paralaje estelar*, es posible utilizarlo con cualquier estrella cercana. Sin embargo, este método de medición requiere de dos pautas importantes: medir los ángulos con un grado exacto y, a su vez, conocer el movimiento real de la estrella. Lo que nos obliga, como podemos imaginar, a disponer de instrumentos de observación muy potentes.

Cuando obtenemos un dato por paralaje, no tiene mucho sentido mostrarlo en kilómetros porque la cifra sería muy incómoda de manejar. En su lugar, introducimos el concepto de

pársec. Una estrella dista un *pársec* si su paralaje desde la Tierra es igual a un segundo de arco, es decir, $1/3600$ grados. Este sistema angular nos permite expresar claramente en qué lugar de la “cúpula celeste” se encuentra la estrella que estamos estudiando. Un *pársec* equivale a 3,26 años luz. Así, la estrella más cercana a nosotros, llamada Próxima Centauri, se encuentra a 1,30 *pársec* o 4,2 años luz de distancia.

Hasta aquí todo es relativamente sencillo de explicar y comprender. Pero ¿qué ocurre cuando, en lugar de medir distancias con estrellas, queremos hacerlo con galaxias mucho más alejadas? Vamos a explicarlo en los siguientes puntos.

3.1 El efecto Doppler

Medir con precisión la velocidad de las estrellas o de los grupos de estas (galaxias) es uno de los objetivos más importantes de la astronomía moderna. Los estudios y análisis realizados en este sentido pretenden servir de base para mejorar y afianzar nuestro conocimiento acerca del origen del universo. De hecho, la idea de la expansión del universo nace aquí, en el descubrimiento de que las galaxias se alejan unas de otras a velocidades muy elevadas.

La técnica empleada para estas mediciones utiliza una famosa propiedad de cualquier movimiento ondulatorio: el efecto Doppler. Se trata del cambio de frecuencia aparente de una onda y que se produce por el movimiento relativo de la fuente respecto de su espectador. Es más fácil de comprender si utilizamos un ejemplo. Imaginemos que nos encontramos sentados en un banco del parque y, a lo lejos, se aproxima velozmente un coche de policía con la sirena encendida en situación de emergencia. El sonido producido por la sirena, aunque es perfectamente perceptible por nuestros oídos, es muy bajo al principio. Este se elevará conforme el vehículo se aproxime a nosotros, llegando incluso a ser molesto cuando se encuentre a nuestra altura. Después, a medida que se aleja, el sonido vuelve a decaer hasta desaparecer finalmente. Bien, lo que aquí ocurre es que la fuente del sonido, cuando se encuentra lejos del espectador, debe recorrer una distancia mayor para llegar a él, lo que se traduce en una onda más alargada. En cambio, cuando está cerca del espectador, la distancia que recorre es mucho más pequeña, por lo que la onda es más corta (Mason, 1986).

En la siguiente imagen podemos apreciar el efecto Doppler de manera gráfica:

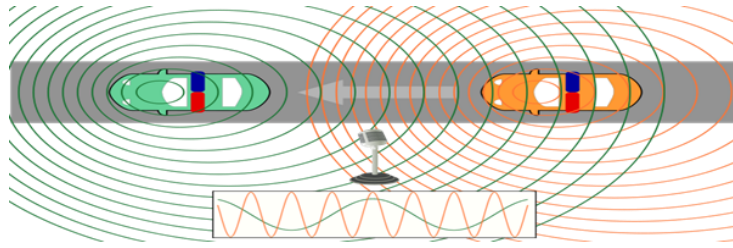


Figura 1: Efecto Doppler.

Tengamos en cuenta, para comprender la importancia de este concepto en nuestro estudio, dos aspectos importantes:

1º) También se produce este efecto en otros tipos de ondas como la luz. En el caso del espectro visible de la radiación electromagnética, si el objeto se aleja de nosotros, su luz se desplaza igualmente a longitudes de onda más larga tornándose gradualmente de un tono rojo. En cambio, si el emisor se acerca a nosotros, la luz se desplaza en ondas más cortas volviéndose de un color azulado. Esta desviación al rojo o al azul es imposible de detectar para el ojo humano por lo que necesitamos un aparato específico para detectarla: el espectrómetro. Como vemos, esto no ocurre con el sonido dado que en ese caso sí que es perceptible de forma directa y natural.

2º) El efecto Doppler también tiene en cuenta si el espectador se encuentra en movimiento o permanece estático. Esto significa que si un espectador pudiese desplazarse a una velocidad cercana a la de la luz podría apreciar el cambio de color a simple vista.

Doppler señaló, muy acertadamente, que este efecto podría explicar los diferentes colores de las estrellas. Es importante aclarar que Doppler no se refería al curioso titileo que observamos en las estrellas a simple vista por la noche (este es un fenómeno producido por nuestra atmósfera que nada tiene que ver) ni tampoco a cambios de color instantáneos (ya hemos mencionado que no es posible observarlos a simple vista) Lo que buscaba este físico austríaco era el motivo por el que algunas estrellas tienen un color o tono diferente a otras. Solucionar este asunto podría dar respuesta a dos de los interrogantes cosmológicos más importantes del momento: qué materia constituye a las estrellas y qué antigüedad tienen.

Uno de los más acérrimos detractores de esta idea fue el neerlandés Buys-Ballot. Argumentó que, si bien es cierto que la luz de las estrellas que se alejan de nosotros se desplaza hacia el rojo, ocurre que, al mismo tiempo, la parte de la luz que sí es visible al ojo humano se encuentra

en una franja azulada. Así, el color global de la estrella se encuentra más o menos equilibrado y no va a sufrir cambios que sean realmente significativos. Si el color de la estrella varía no es por la distancia, sino por las diferentes temperaturas que ese objeto tiene en su superficie (Mason, 1986).

Por mor de la brevedad, diremos simplemente que el asunto permaneció en disputa durante gran parte del siglo XIX. Diversos científicos de la talla de William Hyde Wollaston, Joshep von Fraunhofer o sir William Huggins trabajaron en este efecto y en medir la luz procedente de las estrellas. Tras largo debate, la comunidad científica interpretó que, en efecto, el corrimiento al rojo o al azul de una onda de luz era debido al movimiento de una estrella mientras se alejaba de nuestro planeta. El efecto Doppler se aplicó a las más diversas mediciones estelares, siendo el responsable de algunos descubrimientos tan interesantes como algunas estrellas dobles o los anillos de Saturno. Recordemos también que se trata de una técnica que arroja resultados prácticamente exactos dado que es posible medir la longitud de onda de las líneas espectrales con muy poco margen de error.

El punto álgido de la cuestión se produce cuando los astrónomos deciden aplicar el efecto Doppler a objetos situados mucho más lejos que las estrellas que son visibles a simple vista. De entre todos estos, el más interesante, cosmológicamente hablando, fue la nebulosa de Andrómeda. Este cúmulo de estrellas era conocido desde, al menos, el año 954 d.C., ocasión en que fue descrito por el astrónomo persa Al Sufi. Con la mejora de los telescopios modernos, especialmente el que se construyó a principios del siglo XX en el Monte Wilson (cerca de Los Ángeles, EEUU) el estudio de esta especie de nube luminosa pasó a protagonizar los más interesantes proyectos de investigación.

3.2 El corrimiento al rojo y la constante de Hubble.

A partir de este momento, el astrónomo estadounidense Edwin Hubble, se convierte en el protagonista indiscutible de nuestro estudio cosmológico. Comenzaremos por analizar su modelo físico-matemático de medición, lo que deriva en una posición cosmológica concreta. Enfrentaremos esta postura a la de otros científicos contemporáneos y, finalmente, analizaremos la problemática filosófica que de ella se deriva e intentaremos aportar la solución más adecuada.

Hubble estudió la nebulosa de Andrómeda con especial interés y logró concluir que sus brazos espirales contenían un incontable número de estrellas con luminosidad variable. Para calcular la distancia de estos objetos, recurrió a los trabajos que unos años antes había desarrollado la astrónoma estadounidense Henrietta Swan Leavitt. Esta norteamericana estudió, desde el Harvard College, un grupo de estrellas cuyo brillo varía en períodos regulares y que se denominan Cefeidas. Descubrió y catalogó estrellas variables en las Nubes de Magallanes, lo que le permitió establecer una relación directa entre el período de la estrella y su luminosidad. Al observar una Cefeida se podía conocer su luminosidad (su magnitud absoluta) que, al compararla con la magnitud aparente, permitía establecer la distancia a la que se encontraba dicha estrella. Esta técnica puede usarse para medir la distancia de cualquier galaxia en la que se encuentren las mencionadas Cefeidas, como hizo Hubble con Andrómeda (Mason, 2012; Rioja y Ordóñez, 2006).

Pues bien, Hubble estableció una distancia entre la Tierra y Andrómeda de, como mínimo, 900.000 años-luz, o lo que es lo mismo, diez veces más lejos que el objeto más distante ubicado hasta el momento. Hoy día, gracias en parte a los estudios de Walter Baade en este asunto, sabemos que la distancia real de la galaxia de Andrómeda es de más de dos millones de años-luz. Pero esta diferencia es lo de menos, puesto que la idea más innovadora y revolucionaria ya estaba sobre la mesa gracias al esfuerzo de Hubble: tanto Andrómeda, como los miles de nebulosas similares, no son sino galaxias como la nuestra, con una materia idéntica a la de la Vía Láctea y que se encuentran repartidas a lo largo y ancho de la inmensidad del cosmos (Weinberg, 2016).

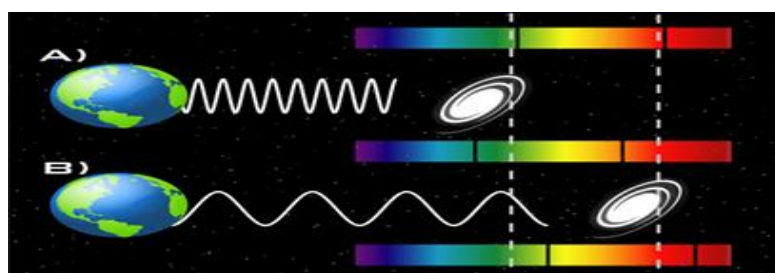


Figura 2: Corrimiento al rojo producido por el efecto Doppler.

Unos años antes, en la década de 1910 a 1920, el también estadounidense Vesto Melvin Slipher, trabajando desde el observatorio de Lowell, confirmó que las líneas espectrales de algunas nebulosas se desplazan al rojo o al azul. Para Slipher, era evidente que esto se producía como consecuencia del efecto Doppler, pero otros astrónomos aseguraban que ese corrimiento solo se producía en apariencia ya que, a estas distancias, influía e interfería de alguna manera el

propio movimiento y brillo de nuestra galaxia. Este contrargumento se volvió insostenible en el momento en que empezaron a descubrirse corrimientos hacia el rojo de otras galaxias vecinas. Incluso, en casos muy particulares como el de Andrómeda, el corrimiento se producía hacia el azul y no al rojo, lo que significa que la galaxia se acercaba a nosotros, no que se alejaba como la mayoría (Weinberg, 2016).

Hubble comprendió enseguida que Slipher estaba en lo cierto y sostuvo la firme idea de que era posible encontrar y establecer una relación entre ambos principios físicos (la distancia de una galaxia y los estudios de Leavitt, por un lado, y el corrimiento al rojo y las observaciones de Slipher por otro). La trascendencia de esta relación para la cosmología occidental es tal, que siempre ha despertado en estudiosos e historiadores una férrea curiosidad por determinar de qué manera llegó Hubble a esa conclusión. Se han realizado investigaciones, entrevistas y redactado los más numerosos artículos intentando aclarar el asunto. Muchos dirigen su atención hacia el sacerdote belga George Lemaître quien formuló el principio cosmológico del Big Bang y que unos pocos años antes ya había redactado un texto que contemplaba esa misma hipótesis, trabajo que, por otra parte, parece que no llegó a las manos de Hubble hasta mucho después. Tampoco es descabellado encontrar en la historia de la ciencia momentos en que la mera imaginación de un investigador tocó la tecla adecuada. Sin ir más lejos, ahí tenemos a Arquímedes, Kepler o Newton quienes, movidos por su genio, alcanzaron los más asombrosos prodigios de su tiempo.

Tomemos como muestra lo que Steven Weinberg escribe en su obra *Los tres primeros minutos del universo*:

“En verdad, al examinar los datos de Hubble me pregunto con asombro cómo pudo llegar a tal conclusión: las velocidades galácticas casi no parecen correlacionadas con las distancias, y solo se observa una suave tendencia de la velocidad a aumentar con la distancia. [...] Es difícil evitar la conclusión de que Hubble conocía la respuesta a la que quería llegar, o bien basándose en el argumento simple esbozado antes (se refiere a la relación entre los estudios de Leavitt y Slipher), o bien en el desarrollo teórico relacionado con esto que estamos examinando.” (Weinberg, 2016, pág. 40)

Sea como fuere, en 1929 Hubble ya había logrado establecer una ley que relacionaba, de forma directa y sencilla, la distancia a la que se encuentra una galaxia de otra y la velocidad a la que se alejan mutuamente.

Hubble calculó la distancia de casi una veintena de galaxias a partir de la luminosidad aparente de sus estrellas más brillantes. Luego, comparó esas distancias con las velocidades de otras galaxias que había obtenido gracias al análisis espectroscópico y el efecto Doppler. Concluyó

que existe una relación proporcional simple entre velocidad y distancia. Para minimizar los errores, Hubble limitó el sesgo de su estudio a galaxias que no superasen los 20.000 km/s y volvió a comprobar. Sus resultados le permitieron concluir que las velocidades de las galaxias aumentaban en 170 km/s por cada millón de años-luz de distancia. Dicho de otra forma, una velocidad de 20.000 km/s de desplazamiento para una galaxia típica implica una distancia de 120 millones de años luz. Estos datos serían posteriormente revisados y modificados por Walter Baade, entre otros, ajustando a la baja la constante en 15 km/s por millón de años-luz.

Años después, en 1936, Hubble inició un programa de investigación en colaboración con Milton Humason cuyo objetivo central fue medir con exactitud la distancia y velocidad de movimiento de la Ursa Majoris II, una estrella situada en la constelación de la Osa mayor. Estimaron que se alejaba a 42.000 km/s, es decir, un 14% de la velocidad de la luz. Además, confirmaron que se encontraba a una distancia de 260 millones de años-luz, aunque hoy día se considera que está mucho más cerca de nosotros. En cualquier caso, la Segunda Guerra Mundial obligó al equipo de Hubble a detener su trabajo y no sería hasta años después que se reactivó. (Weinberg, 1978).

Matemáticamente, la Ley de Hubble puede expresarse de la siguiente manera:

$$z = \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_2} = \frac{H_0}{c} = D$$

Donde:

λ : Representa la constante cosmológica.

z : Refiere a un número adimensional ratio de longitudes de onda en el punto de emisión y recepción (el corrimiento al rojo).

D : La distancia actual de la galaxia, expresada siempre en Mega pársec por segundo o Mps.

H_0 : La constante de Hubble en el momento de la observación.

c : La velocidad de la luz.

La relación velocidad – distancia, actúa de modo más general y es a menudo confundida con la ley de Hubble. Se expresa de la siguiente manera:

$$v = H_0 \cdot D$$

v : Es la velocidad de recesión debido a la propia expansión del universo y se expresa, habitualmente, en km/s. (Dalarsson & Dalarsson, 2015).

La relación entre velocidad y distancia se deriva de dos condiciones: primera, que el universo es isótropo, es decir, que las medidas tomadas en cualquier dirección son equivalentes; y, segundo, que este se expande o se contrae.

Los actuales modelos relativistas apuntaron que, en sentido estricto, ni v ni D resultan directamente observables porque desde el momento en que la luz salió del emisor, el tamaño del propio universo ha cambiado. Si tomamos una galaxia cercana como Sagitario, por ejemplo, donde z es menor que la unidad, tanto v como D apenas sufren variación, pero con galaxias más alejadas esto no ocurre y no es posible calcular la relación velocidad-distancia sin especificar z y de qué manera cambia H_0 con el tiempo.

La *Constante de Hubble* es la constante de proporcionalidad que aparece en la formulación matemática de la ley. Originalmente, este era considerado como un número de valor fijo, pero los modelos relativistas en los que se basa el Big Bang, sugirieron el concepto de parámetro en lugar de constante, ya que, como hemos señalado, este varía lenta e inevitablemente con el tiempo. Por eso, es recurrente encontrar manuales y textos que hablan del *Parámetro de Hubble*.

El valor del parámetro cambia con el tiempo, aumentando o disminuyendo en función del signo del parámetro de deceleración q , que podemos expresar matemáticamente así:

$$q = -H - 2 \frac{dH}{dt} + H^2$$

Es posible definir un *tiempo de Hubble* o *edad de Hubble* del universo como $1/H_0$ o 978.000 millones de años/[H_0 /(km/s/Mpc)] La edad de Hubble es de 14 000 millones de años para $H_0=70$ km/s/Mpc, o 13800 millones de años para $H_0=71$ km/s/Mpc. La distancia a una galaxia es aproximadamente zc/H_0 para pequeños desplazamientos al rojo z y expresando c como 1 año luz por año, esta distancia puede expresarse simplemente como z veces 13800 millones de años luz. (Weinberg, 1978)

La ley de Hubble se convierte así en la primera evidencia del paradigma de un universo inflacionario. Articula y dinamiza la cosmología moderna, dotando a su estructura conceptual de herramientas matemáticas capaces de demostrar su veracidad más allá de conjeturas o suposiciones. Hubble sentó las bases del modelo inflacionario que fue, por otra parte, resultado de un esfuerzo compartido entre diferentes científicos y disciplinas.

4. EL MODELO INFLACIONARIO

Deliberadamente, hemos ignorado el asunto de la luz en nuestras explicaciones anteriores con el fin de simplificarlas, pero ahora eso se vuelve insostenible. La luz es la responsable de transmitir la información en el cosmos y nos permite conocer la distancia de las galaxias y su movimiento. Sin embargo, en el universo primitivo la cantidad de materia era prácticamente insignificante y la luz apenas tenía información que transmitir ni obstáculos en su camino. La luz dominaba por entero un cosmos mucho más reducido pero sometido a una rapidísima expansión. El problema aquí es que las ecuaciones que nos han permitido medir la velocidad de la luz, la distancia de algunas estrellas o el movimiento de las galaxias no se pueden aplicar a los primeros instantes de vida del universo.

Cuando una onda de luz viaja entre dos galaxias, la separación que se produce entre ellas es igual al producto del tiempo de viaje de la luz por su velocidad, del mismo modo que el aumento de esa separación entre galaxias es el tiempo de viaje por la velocidad relativa de las galaxias. (Weinberg, 1978) De forma resumida: un rayo de luz aumenta su longitud de onda en proporción a la separación entre las galaxias, pero conforme el universo se expande.

Podríamos pensar, de acuerdo a lo anterior, que la propia expansión del universo va a “estirar” la onda. De algún modo, mientras más rápido se expanda el universo, mayor separación se producirá entre las crestas de las olas. Claro está, no es lo mismo medir la distancia entre galaxias de forma separada e independiente, que medirlas teniendo en cuenta esta variable. De todo esto se ocupa la ciencia cinemática. Su objetivo principal es entender e integrar el movimiento particular de los cuerpos que se encuentran en el espacio con la expansión del propio universo.

Comprender la inflación es una tarea compleja que demanda de nosotros el abandonar la idea de un universo vacío que se llena de metralla cósmica tras una poderosa explosión. Es mucho más acertado imaginar que tenemos un globo para fiestas de cumpleaños y que, sobre su superficie, dibujamos algunos puntos. Cuando inflamos el globo, estos puntos se irán separando entre sí a la misma velocidad, del mismo modo que si lo desinflamos se acercarán en la misma proporción. Pero eso es una cosa, y otra bien distinta es medir la rapidez con la que el propio

globo se expande, hasta donde es posible que continúe esa inflación o si se detendrá en algún momento.

Para que todo esto tenga sentido, es imperativo el estudio de la gravedad. Esta ley natural actúa, de forma invariable, sobre toda la materia del universo. Desde la partícula más pequeña hasta el objeto más masivo que podamos imaginar se encuentran gobernadas férreamente por la gravedad.

Hablar de gravedad es hablar de Newton. El inglés ya admitió en su momento que, si la materia del universo estuviese repartida de forma homogénea y dentro de un espacio finito, entonces la gravedad la arrastraría hasta el centro formando allí una gran masa esférica. En cambio, y esto es lo interesante, si esa masa, aun estando repartida de forma equitativa, lo hiciese dentro de un universo infinito, no habría centro alguno al que pudiese ser atraída. Lo que ocurriría en este segundo caso sería, curiosamente, el comportamiento que observamos en nuestro universo: la materia se agrupa en cúmulos independientes (como las galaxias) que están pululando por la inmensidad del cosmos (Mason, 1986)

Es la simbiosis entre una evolución dinámica y un universo infinito lo que bloqueó, durante mucho tiempo, el avance cosmológico. Y así se mantuvo hasta la llegada de la Relatividad General de Albert Einstein.

Para continuar nuestra investigación no es necesario detenernos en explicar detalladamente los aportes del notable físico, cosa que, por otra parte, nos llevaría mucho tiempo. Simplemente vamos a esbozar algunos puntos de forma resumida con el fin de no perder la tan valiosa continuidad que queremos mantener a lo largo de este trabajo.

El mayor aporte de Einstein a la cosmología fue el de utilizar la matemática presente en la geometría no-euclidiana para explicar que la gravitación no es una fuerza sino el resultado de la curvatura producida en el espacio y el tiempo por el peso gigantesco de objetos como estrellas, planetas o galaxias.

Las ecuaciones descritas por Einstein en su formulación general de la relatividad, pretendían describir la geometría espacio-temporal de todo el universo. Su presupuesto cosmológico contemplaba las interacciones gravitacionales dentro de un universo que debía contar con tres características: homogéneo, isótropo y, más importante aún, estático. Al principio, las formulaciones matemáticas del alemán no arrojaron ningún resultado esperanzador. Más tarde, se percató que podía contrarrestar la fuerza de la gravedad a grandes distancias introduciendo

una constante denominada como Λ (*lambda*) Einstein dedicó muchos esfuerzos a mantener viva esta nueva constante. Pero en 1931, los modelos propuestos por Hubble acerca del corrimiento al rojo le obligarían a replantarse esta idea. Otro hecho que jugó contra la constante fue el trabajo del astrofísico británico Arthur Stanley Eddington. Este vino a demostrar que el modelo de universo estático con base en la constante *lambda*, era totalmente inestable. (Pérez Rivas, 2016)

Einstein abandonó el modelo estático y comenzó a trabajar en un diseño en expansión conocido como el *Universo de Einstein-de Sitter*. Ayudado por las ecuaciones de Friedman, que pretendían corregir algunos errores de la teoría General de la Relatividad, Einstein eliminó su constante cosmológica. Siendo exactos, lo que hizo fue reducirla a cero, pero de todas formas el problema se solucionó. Einstein y De Sitter proponían un modelo cósmico sencillo en el que se asumía una curvatura espacial que se desvanece junto con la constante.

En este modelo se puede derivar una relación simple entre la densidad media de materia en el universo y su expansión, de acuerdo a la constante de Hubble. Matemáticamente, como sigue:

$H_0^2 = kp^3$ Donde:

H_0 : es la constante de Hubble

p : es la densidad promedio de materia

k : la constante gravitacional de Einstein (no la constante cosmológica que, insistimos, ya se había eliminado de este esquema matemático)

Este modelo contempla la expansión del universo a medida que avanza el tiempo. No obstante, las revisiones posteriores coinciden en que el modelo de Einstein-de Sitter es solo una de las variadas opciones que plantea un universo inflacionario.

La teoría inflacionaria nos permite explicar tanto los primeros minutos de vida de nuestro universo como los razones que han motivado su desarrollo posterior. Este modelo presenta la manera en que el cosmos evoluciona constantemente bajo los parámetros de una expansión exponencial. Esta es la razón por la que el universo resulta, en apariencia, homogéneo e isótropo. Para diseñar este modelo se tienen en cuenta una serie de teorías cosmológicas que nacen en la mecánica cuántica y la física de partículas. Hay que señalar que, si bien el modelo cosmológico de un universo en expansión es, como decimos, fruto de la suma de muchas teorías y ramas del conocimiento, es cierto también que podemos otorgar su formulación primitiva al físico estadounidense Alan Guth. En 1981, diseñó un modelo que podía resolver ciertos

problemas tradicionales de la cosmología que, solo un año después, sería completado por los aportes del cosmólogo ruso Andrei Linde. (Peebles, 1993)

Este modelo fue particularmente importante en los años 80 y 90. Abrió la puerta a nuevas variables con influencia en el desarrollo del cosmos como son la materia oscura o la energía oscura. A principios de los 2000, las observaciones del fondo de microondas y nuevos estudios acerca de la velocidad de desplazamiento incluyeron también el asunto de la entropía y el destino final del universo.

De una forma muy resumida y ligera, puede tomarse todo esto como una aproximación a las ideas más esenciales del modelo inflacionario. Este posicionamiento histórico-científico que hemos realizado nos ayudará ahora a dar entrada a la problemática que el propio diseño trae aparejada. Aunque la lista de problemas a los que la cosmología moderna tiene que hacer frente es extensa, nosotros vamos a tratar únicamente aquellas cuestiones de orden filosófico que, por su especial relevancia, han atraído las miradas de la mayoría de cosmólogos en el siglo XX. Estos son:

- La figura del observador en la cosmología y la dificultad que entraña el hecho de que todo aquello que queremos estudiar en el universo no podemos hacerlo sino por medio de instrumentos especializados.
- Hoy día, los modelos cosmológicos son radicalmente diferentes a los que propuso la astronomía clásica. Se trata de modelos excesivamente matematizados que, para la población en general, son totalmente indescifrables. Esto origina un peligroso distanciamiento entre la ciencia y el hombre dejando el conocimiento solo al alcance de unos pocos.
- Algunos de los conceptos que se utilizan actualmente para describir nuestro universo resultan imposibles de representar en nuestra imaginación. No hablamos de comprensión, sino de representación, es decir, que somos seres epistemológicamente limitados y, por tanto, incapaces de imaginar completamente conceptos como la eternidad o la nada. El lenguaje juega aquí un papel destacado y veremos también la importancia de realizar una correcta pedagogía.
- El universo opera y se desarrolla bajo unas circunstancias tan especiales que parecen puestas 'a medida' La más mínima variación de los parámetros físicos de algunas magnitudes o un ligero cambio en la composición de la química elemental, haría de este un cosmos inhabitable. A través de las propuestas de diferentes autores, trataremos de

dilucidar si esto es simple apariencia, o si, por el contrario, hay una realidad ontológica oculta tras aquello que vemos.

5. LA OBSERVACIÓN

Si de todo lo anterior podemos extraer una idea por encima de las demás es que el universo se expande y que las galaxias parecen alejarse unas de otras a mayor velocidad cuanto más distantes están. En su trabajo de investigación, Hubble se ayudó tanto de formulaciones teóricas como de instrumentos prácticos de observación y medición. Pero ocurre, como ya hemos mencionado en alguna ocasión, que el hecho de que las galaxias se alejan de nosotros no es observable a simple vista. No es algo que pueda apreciarse a través de ningún telescopio, por tanto, la única manera de comprobarlo es aplicar una técnica de medición a los resultados que arrojan los espectroscopios.

Para conectar resultados e hipótesis, el científico necesita formular una interpretación. Este asunto, el de la interpretación, fue duramente discutido a principios del siglo XX por autores cercanos al positivismo y el Círculo de Viena. El positivismo, heredero del empirismo clásico, busca una ciencia libre de todo prejuicio metafísico, sin ninguna influencia mítica o religiosa, cuidadosa con el lenguaje y no sometida a excesivas limitaciones morales. Hasta aquí, resulta ser una posición bastante razonable. De hecho, la actitud filosófica debería integrar siempre estos principios. La búsqueda de la verdad y el conocimiento han de comenzar por aquellos hechos que encontramos naturalmente en el mundo.

El problema llega cuando esos hechos o acontecimientos no están a nuestro alcance directo, bien sea porque son extremadamente pequeños como una partícula subatómica, o bien porque están increíblemente alejados de nosotros como una galaxia. En ese momento, aparecen ante el científico toda una serie de caminos erróneos, conjeturas equivocadas y pérdidas de información fruto de los posibles errores en la medición o de la propia naturaleza incomprendida del evento.

Allan Sandage, quien fue discípulo de Hubble y gran amigo de este, escribió en su obra *Galaxies and the universe*, lo siguiente:

“La ciencia está llena de pistas falsas. Hay más pistas falsas que correctas. Hubble tuvo una increíble capacidad de cruzar ese laberinto de pistas falsas, y sus placas no eran muy buenas. No era un buen observador, pero en cada caso llegó sin equivocarse a la verdad. La mayoría de las personas que dicen ser objetivas siempre obtienen respuestas erróneas. La ciencia experimental no es tan pura como se quiere hacer pensar a la mayoría de personas.” (Sandage, 1975. Pág. 115)

Los resultados que se obtienen por experimentación u observación también están sujetos a interpretación y evaluación, a crítica y, por supuesto, a que se cambien las condiciones en que se llevan a cabo y, con ello, se alteren las conclusiones.

El asunto de la neutralidad o permeabilidad de la observación como factor privilegiado en la construcción de las teorías científicas, es un tema fundamental en la filosofía de la ciencia. La observación científica, ya sea esta directa o instrumentalizada, ha sido durante mucho tiempo un elemento clave para determinar la naturaleza, estructura, contenido y alcance de la ciencia. (Ayer, 1959; Carnap, 1956; Hempel, 1958; Brown, 1993) Para la filosofía, el problema de la observación estuvo siempre ligado a los debates acerca del realismo, la objetividad, la elección de teorías o la racionalidad de conocimiento científico (Milone, 2019) En este sentido, podemos enmarcar el asunto bajo la idea de la '*carga teórica de la observación*' término acuñado por Norwood Russell Hanson. Este filósofo norteamericano defendió que la observación de un fenómeno no es, ni mucho menos, una tarea únicamente dominada por los sentidos (de entre los cuales, la vista ocupa un lugar privilegiado). A diferencia de los pensadores clásicos, Hanson sostuvo que en la construcción de una teoría actuaban, además de la observación sensible, otros elementos como el lenguaje, las notaciones históricas, la psicología e, incluso, las propias creencias del investigador.

Esta tesis, que otros autores como Duhem ya había trabajado con anterioridad, debilitaba en gran medida la argumentación sobre la que se construyó el empirismo, al menos, en su vertiente más conservadora. Los empiristas defendían un acceso directo a la realidad donde el científico tenía un papel neutral frente a los fenómenos que observaba. Así, el científico tenía la seguridad de que sus datos eran puros, independientes y objetivos. Por tanto, la base de una teoría podía entenderse desde una base empírica, libre de prejuicios y conceptualizaciones. (Brown, 1977; Estany, 1993) Para Hanson esto es una utopía, e insiste en la necesidad de entender la observación científica como un proceso condicionado por factores propios y externos del observador. La observación resulta, en buena medida, permeable al conocimiento previo. Así, el aprendizaje previo se vuelve un factor sustancial que transforma y consolida la forma de hacer ciencia y el desempeño de los científicos (Milone, 2019) La experiencia es una amalgama de estímulos, creencias, imágenes y aspectos del lenguaje que han de ser tenidos en cuenta a la hora de describir y comprender los fenómenos naturales.

Pensemos, por ejemplo, en Tycho Brahe y Johannes Kepler. Ambos trabajaron juntos durante algún tiempo y compartieron datos e instrumental, sin embargo, el primero defendió un diseño

geocéntrico del universo, mientras el segundo colocó al Sol en el centro del Sistema. ¿Cómo es posible que presenten modelos tan dispares? La solución pasa por entender, tal como nos explica Hanson, que sus interpretaciones se encontraban previamente mediatizadas por sus expectativas, intereses y creencias.

En la observación científica también juegan un papel destacado los instrumentos de medición. Cuando hablamos de instrumentos debemos tener en cuenta, aparte de todo lo ya mencionado, la formación previa y necesaria del científico para utilizar correctamente el aparato, así como para interpretar de la forma adecuada los datos. En la construcción de aparatos participa toda una red interconectada de teorías distintas que permiten su construcción y mantenimiento. Así, por ejemplo, para construir un telescopio, no solo hay que tener en cuenta teorías ópticas, sino también de refracción, de estabilidad, de ergonomía, etc. Lo que vemos a través de un instrumento está igualmente mediatizado, no solo por la presencia del observador, sino también por la del instrumento. La conclusión de Hanson es clara: la información que procesamos en nuestro cerebro no nos llega de una forma tan pura y directa como el empirismo defendía.

Esta propuesta de Hanson frente a la posición empirista tradicional, no pasó desapercibida para la filosofía de la ciencia del siglo XX. Veamos algunos autores que trataron la cuestión:

- Thomas Kuhn ratificó la tesis de la carga teórica, integrándola a su vez con la psicología de la percepción que presentó tiempo atrás George M. Stratton (Milone, 2019) Para Kuhn, lo que el científico percibe depende tanto de lo observado como de su conocimiento y experiencia particulares. El paradigma, que sería el marco común bajo el cual la comunidad científica realiza las observaciones, tiene igualmente un papel destacado (Kuhn, 1982).
- Paul Churchland propuso una variante de la carga teórica en la que la observación está condicionada por un juicio perceptivo, es decir, que esta sería dependiente de una amplia red de conceptos relacionados con el significado y el lenguaje. Según Churchland, los términos que podemos observar no están determinados por las cualidades intrínsecas de las sensaciones, sino por el lugar ocupado por dichos términos en la red conceptual que los contiene (Estany, 1993).
- Finalmente, el norteamericano Harold Brown propugnó un camino intermedio en el que reconocía que la percepción sí es una relación directa entre sujeto y cosa observada, pero que identificar e interpretar ese objeto del mundo requiere un marco conceptual

que se encuentra traspasado por creencias, sensaciones psicológicas y físicas y, por supuesto, el entorno (Milone, 2019).

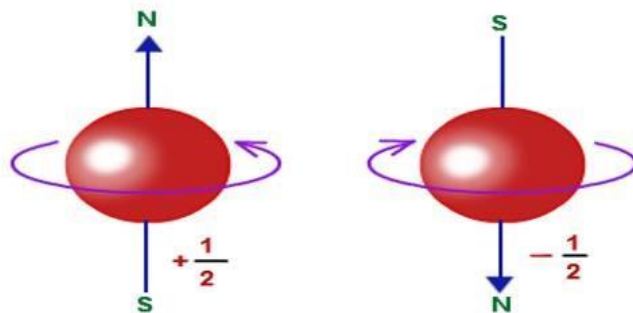
Hanson afirmó la presencia de condicionamientos en la observación científica. La descripción de los fenómenos siempre queda supeditada a determinados elementos que se encuentran presentes en nuestro sistema de referencia epistemológico. “Una teoría no se ensambla a partir de fenómenos observados; más bien lo que la hace posible es observar qué tipo de relación mantiene con los otros y con nosotros” (Hanson, 1977, p. 198) Hanson priorizó el papel del observador-participante (Milone, 2019) El observador y lo observado, lejos de ser dos escenarios independientes que interactúan, articulan una verdadera simbiosis que posibilita el conocimiento.

Esa figura del observador-participante tiene especial relevancia para la cosmología moderna. Medir distancias, composiciones químicas, trayectorias o volúmenes no puede ejecutarse de forma efectiva si no es utilizando material instrumental muy preciso. A diferencia de otras ciencias como la medicina o la botánica, la astronomía no nos ofrece esa posibilidad de interactuar de una forma cercana y personal con el fenómeno. Tanto es así que, en las teorías físicas, cuando hablamos de observador, en realidad, estamos hablando de instrumento. La relevancia de los aparatos es tal que, directamente, han borrado la figura del observador que ha sido relegado a un papel secundario en tanto utiliza estos e interpreta los datos. No es una tarea menor, evidentemente, pero no es el protagonista. En toda la historia de la cosmología nunca se cuestionó el protagonismo del observador: este tenía un papel activo tanto en la percepción del fenómeno como en la construcción de una hipótesis. Esa es, como sabemos, la posición clásica del empirismo que venimos cuestionando.

A principios del siglo XX, con los trabajos de Gibbs y Planck, así como las contribuciones de Einstein, comenzaba a desarrollarse la disciplina de la física conocida como física cuántica o mecánica cuántica. Esta pretendía dar respuesta a problemas específicos de la cosmología como son la radiación que emite un objeto en equilibrio térmico o la estabilidad de los átomos. Pero pronto se descubrió una nueva dimensión del problema de la observación. Si el empirismo tradicional defendía que la línea de la observación se trazaba en una sola dirección, es decir, del objeto hacia el sujeto, y posiciones como la de Hanson plantearon una ambivalencia; la mecánica cuántica realizó ciertos experimentos para comprobar si no habría una tercera trayectoria, es decir, del observador hacia el fenómeno, modificando este de alguna manera y

alterando notablemente su comportamiento. Ilustremos la cuestión con el famoso ejemplo del *espín*:

Se trata de una propiedad física que poseen las partículas elementales, es decir, aquellas partículas que son constituyentes de la materia sin la necesidad de que interactúen partículas más pequeñas o de tener una estructura interna. Este espín tiene un momento angular de valor fijo y este solo se ve alterado cuando se somete a rotación. En la parte superior, figura 3: Espín.



Es importante aclarar que el espín es un fenómeno exclusivamente cuántico y no podemos relacionarlo de forma directa con una rotación en el espacio. Imaginar que el espín rota sobre su propio eje es solo útil como referencia mental pues, en realidad, el espín no tiene una representación en términos de coordenadas espaciales, de modo que no se puede referir a ningún tipo de movimiento. Cualquier observador que haga una medición del momento angular de un espín, detectará que la partícula analizada posee un momento angular intrínseco total, pero que la dirección de dicho momento puede variar aleatoriamente, no así su valor, el cual, permanece fijo. Este fenómeno no tiene analogía alguna con la mecánica clásica. Esto se debe a que existe una relación directa entre el espín de una partícula cualquiera y la estadística que obedece a un amplio número de circunstancias variables. La teoría cuántica de campos relativistas trata de resolver este problema y busca puntos en común entre la mecánica clásica y la cuántica con el fin de comprender mejor estos fenómenos. (Weinberg, 1995; Friedrich & Herschbach, 2003)

Andrew Truscott realizó mediciones en diferentes partículas con el fin de demostrar que no era la figura del observador la que generaba esos cambios, sino la propia naturaleza del espín. Es una realidad que, en la exploración del universo, nos encontramos frecuentemente con partículas y fenómenos de extraña naturaleza que chocan frontalmente con nuestro conocimiento e intuición. Esto origina cierto desamparo epistemológico de difícil solución e, ignorarlo, solo agrava el problema. Que la cosmología no se perpetúe como una disciplina propia de la élite científica, pasa por una correcta pedagogía pública, el adecuado uso del lenguaje científico-filosófico y la recuperación de los tradicionales valores humanistas.

6. LA DIFICULTAD PARA DESARROLLAR MODELOS INTUITIVOS

Si ponemos todo esto en perspectiva, pronto nos daremos cuenta de que existe un abismo entre el modelo que la física teórica presenta para explicar el universo y nuestra relación cotidiana con la naturaleza. Esto no ocurría anteriormente. Con los esquemas griegos o los diseños medievales, el universo parecía muy fácil de comprender e, incluso, se prestaba a cierto grado de intuición. El hecho de pensar que existía una bóveda gigante que giraba sobre nuestras cabezas y que contenía en ella a todos los astros del cielo parecía bastante creíble. De hecho, visto desde nuestra perspectiva, era eso mismo lo que parecía.

Pero los modelos relativistas no dan esta opción. Se muestran distantes y excesivamente matematizados, difícilmente comprensibles para cualquier persona que no esté iniciada mínimamente en la materia. Conforme nuestro conocimiento del universo se fue expandiendo, las explicaciones y los modelos adquirirían gradualmente mayor complejidad. Las matemáticas resultaban indispensables para explicar el cosmos y sus fenómenos.

Recientemente, por ejemplo, se ha descubierto un agujero negro en el centro de nuestra propia galaxia que parece configurar todo el orden físico del sistema local (Alcalde, 2022). Para explicar la forma en que este interactúa con la materia y el espacio-tiempo que le rodea, debemos recurrir a complejas ecuaciones y formulaciones que nos permitan prever también su comportamiento en el futuro. El lenguaje nos permite una aproximación y comprensión al fenómeno, pero su explicación debe ser matematizada.

¿Significa esto que, a medida que vayamos conociendo más nuestro universo, los modelos se irán volviendo paulatinamente más complejos? Probablemente sí. Y con ello, la propia física y las matemáticas que deben explicar su desarrollo. Como resultado, cada vez nos resultará más difícil interpretar y comprender esos modelos.

Pero la solución tampoco pasa por construir modelos intuitivos, pero que resulten poco explicativos. Si hacemos eso, mejoramos la comprensión general del sistema, pero presentamos una verdad incompleta. Hay un gran número de cosmólogos dedicados en exclusiva a pulir y delimitar las puntiagudas aristas de los modernos diseños, pero la tarea no es sencilla.

Identificamos, por tanto, un serio problema: los modelos matemáticos resultan muy complejos, pero simplificarlos les resta credibilidad y veracidad. La posibilidad de plantear modelos alternativos es muy reducida, en buena medida, por la propia metodología con la que trabaja la

ciencia, a saber: el método deductivo lógico-matemático y el inductivo. Vamos a ver con detalle cada uno de ellos:

- Con el modelo deductivo trabajaron Platón o Pitágoras. Consideraban que las relaciones de números que se dan en aritmética lograban representar la realidad inmutable del cosmos. Lo que vemos en el mundo sensible, en el universo, no son más que apariencias. La razón es el único medio que posibilita el acceso al conocimiento en tanto nos permite conocer esas realidades matemáticas ocultas, desvelarlas y exponerlas. Esto es imposible a través de los sentidos (López Corredoira, 2015). Bajo este prisma deductivo matemático, encontramos una preponderancia de teorías abstractas y, por tanto, el modelo siempre se prima por encima de la experimentación u observación. Interpretar estos modelos, teóricos y matematizados, puede resultar una tarea imposible para los neófitos en física. Pero, más allá de eso, ocurre que, cuando la cosmología se vuelve una disciplina demasiado amiga de la física, acaba por olvidar cuestiones que también forman parte de su esencia.
- El modelo inductivo, a diferencia del anterior, centra sus esfuerzos en la observación de la naturaleza. La observación sistematizada de un fenómeno en una región concreta del espacio nos permitirá extrapolar los resultados a regiones más amplias del cosmos. Por ejemplo: los eclipses que vemos desde la Tierra nos han permitido encontrar otros planetas girando alrededor de estrellas distantes gracias a que, al igual que ocurre en nuestro planeta, se produce una pequeña bajada en el brillo de la estrella cuando el planeta pasa por delante. Aristóteles es una de las más claras contraposiciones que podemos presentar al platonismo matemático: “el método matemático no es el de los físicos porque la materia es probablemente el fondo de toda naturaleza” (Aristóteles, libro II de Metafísica). No obstante, la matemática sí que resulta útil a la física, pero es cierto que trabajar con materia no es lo mismo que hacerlo con abstracciones matemáticas. “La materia y no los números, ni la geometría, ni la aritmética, ni el análisis de funciones; la materia [...] es el Universo físico, y es lo que constituye la realidad de la naturaleza que es el objeto de estudio de las ciencias físicas.” (López Corredoira, 2012) Un ejemplo más actual, si se prefiere, podría ser el de Galileo Galilei, quien representa una apuesta clara por la observación y experimentación como requisitos previos e indispensables a la teorización. De esta forma, los modelos que se construyen con base en la observación resultan, al menos en una fase inicial, más intuitivos y adecuados a nuestra relación con el entorno. Pensar en los satélites de

Júpiter, que descubrió Galileo, no requiere del estudiante de cosmología una abstracción elevada, sino que basta con un poco de imaginación para comprenderlos.

“En lo que a mí me respecta, [los modelos deductivos] suponen una aparente pérdida de contacto con la realidad y los hechos observacionales, y, lo que es peor, algunos teóricos rehúsan deliberadamente aceptar algunos resultados cuando se muestran en conflicto con alguna de las teorías del universo que están sobre implicadas y, por consiguiente, les resultan tan atractivas intelectualmente” (De Vaucouleurs, 1970).

En la práctica cosmológica, estas posiciones no suelen darse de una forma separada. Muchas veces, las posiciones empíricas también han partido de una base teórica que les permitía orientar la investigación y realizar las combinaciones e interpretaciones adecuadas.

La cosmología física actual se ha liberado, por decirlo así, de la pretensión de verdad filosófica. Ahora trabaja de forma autónoma e independiente, ajena a los debates sobre las últimas razones. Ya no tiene que cargar con el peso de que sus modelos sean comprensibles por la mayoría, ni siquiera estéticos o simples, esto queda fuera de la discusión para la física. La responsabilidad recae sobre la filosofía, que debe construir una arquitectura sobre la que descansen las justificaciones cosmológicas (Arana, 2012). Este es el fondo del problema: sin esa intención por abordar cuestiones humanistas, el universo aparece como un escenario frío y alejado, propiedad de la física y las matemáticas. El problema es que el físico no acepta que muchos de los temas que debemos enfrentar en el conocimiento del universo están más cerca de la teología o la metafísica que de la física.

La solución pasa por recuperar una cosmología tradicional, que no desprecie las grandes cuestiones humanas. Amigable con la física, pues es totalmente necesaria en la búsqueda de la verdad, pero no enemiga del humanismo. Es necesario reclamar una nueva cosmología que reivindique las virtudes del hombre, su inteligencia y amor por el descubrimiento. Una cosmología humanista que no relegue al hombre a una posición ridícula y minúscula. Es imperativo recuperar el gusto por las preguntas tradicionales, aquellas que motivan la discusión entre eruditos y profanos. Construir una cosmología alejada del hombre y únicamente interesada en los fenómenos físicos, es un error que solo perjudica al conocimiento universal.

7. LA ETERNIDAD Y NUESTRAS REPRESENTACIONES

El problema que acabamos de tratar acerca de la dificultad para interpretar correctamente los modelos cosmológicos puede ampliarse a nuevas esferas como son la epistemología y el lenguaje.

Determinados conceptos, que son necesarios para construir los modelos, requieren de una capacidad de abstracción muy exigente y desarrollada. Uno de los ejemplos más conocidos es el de las cuatro dimensiones de la relatividad, donde el tiempo pasa a constituirse como una entidad inseparable del espacio. Pensar el tiempo como algo físico y no abstracto nos resulta prácticamente imposible. Esto ocurre porque, sencillamente, nuestra relación con el entorno es en tres dimensiones (a lo largo, ancho y alto) e imaginar el tiempo como una cuarta dimensión física resulta extremadamente complejo. Habitualmente pensamos en el espacio y el tiempo como cosas separadas y organizamos nuestra vida en función del tiempo que nos llevará realizar una actividad o de la distancia que tendremos que recorrer para finalizarla. Esa unión del tejido espacio-tiempo no parece darse en nuestra vida cotidiana, aunque en realidad, sí que se produce. La relatividad no es una teoría que solo interactúa en el espacio, entendiendo este como todo lo que existe fuera de nuestro planeta. La relatividad también opera en nuestro planeta y sobre nosotros, aunque no nos demos cuenta.

Volveremos al tiempo más adelante. Ahora vamos a ocuparnos de otros conceptos que adolecen de este mismo problema.

La eternidad es otra de esas ideas a las que estamos acostumbrados, que hemos oído con frecuencia y que, incluso, utilizamos en nuestro lenguaje cotidiano. Pero la realidad es que comprender la idea de eternidad no es tarea sencilla y supone uno de los grandes problemas filosóficos que han acompañado a la cosmología desde sus orígenes. En el modelo inflacionario, la eternidad es un concepto necesario. Veamos la razón de esto:

- Antes de la expansión, en lo que conocemos como la *Época de Planck*, el tejido espacio-temporal se encontraba en una singularidad primitiva. Las interacciones entre la materia y las leyes físicas no pueden ser comprendidas con nuestros conocimientos actuales.
- De 10^{-43} a 10^{-36} segundos, el universo sufre una rapidísima expansión ocasionada por un motivo que desconocemos. La gravedad, el electromagnetismo y la interacción nuclear fuerte y débil comienzan a separarse.
- De 10^{-36} a 10^{-33} segundos, la energía liberada en los primeros instantes comienza a descomponerse en calor. La temperatura es tan elevada que no permite aún la formación

de materia; de hecho, aparecen los primeros fotones, pero decaen tan rápidamente que resulta imposible establecer su tiempo de existencia.

- De 10^{-33} a 10^{-12} segundos, las partículas fundamentales comienzan a obtener masa.
- De 10^{-12} a 10^{-6} segundos el universo comienza a enfriarse y se forman los primeros protones y neutrones.
- De 10^{-6} a 3 minutos, el universo se ha enfriado lo suficiente como para que se formen las primeras partículas de materia. (Weinberg, 2016; Rovelli, 2018)

Después de esto, el Universo atravesó diferentes etapas en las que se fueron formando las estrellas (como nuestro Sol), los grandes cúmulos de gas y, finalmente, las primeras galaxias. (Hawking, 1988)

Pero ¿y si miramos al futuro? Sin pruebas verificables, lo único que podemos hacer es especular y arrojar algunas hipótesis en base a las últimas observaciones de los grandes telescopios, a la constante de Hubble, y a algunos experimentos acerca del fondo cósmico de microondas.

No obstante, la comunidad científica parece estar de acuerdo en señalar cuatro posibilidades:

- *Big Freeze*, o *Gran Enfriamiento*. Es considerado el escenario más probable. La idea es que la expansión del universo continuará de forma ininterrumpida. Aunque en un principio las galaxias continuarán emitiendo luz, estas se encontrarán tan alejadas unas de otras que los fotones no podrán alcanzarlas. Más adelante, las estrellas agotarán su hidrógeno y se apagarán gradualmente. Llegados a una escala de unos 100 billones de años en adelante, la radiación de Hawking predice que las galaxias colapsarán en agujeros negros supermasivos que descompondrán toda la materia hasta convertir al cosmos en una sopa de radiación con una temperatura cercana al cero absoluto.

Este escenario nos presenta otro concepto interesante que trataremos al final del capítulo: la nada.

- *Big Crunch*, o *Gran Crujido*. La expansión que observamos en las galaxias hace pensar que este modelo es poco probable. Se trata de un escenario en que las galaxias empezarán a desacelerar en algún momento bien por la fuerza de la gravedad o bien porque el universo es, en realidad, finito y cerrado. Todas las galaxias volverán a revertir el proceso inflacionario precipitándose unas sobre otras hasta lograr, dentro de cientos de billones de años, un nuevo punto 0 de singularidad primitiva. Es conocido

como Universo Oscilante y fue propuesto por Richard Tolman en la década de los años 40.

- *Big Rip* o *Gran Desgarro*. En este escenario debemos tener en cuenta a la energía oscura y considerar que, a lo largo del tiempo, su densidad se incrementa sin límite. Esta energía precipitará al universo a una expansión descontrolada. Al final, la fuerza originada por una elevada densidad de energía oscura podrá desgarrar galaxias, estrellas, planetas y, finalmente, cualquier partícula de materia. Algo así como un globo al que se le inyecta mucho aire y acaba explotando. En este caso, no hay sopa de radiación final porque los núcleos atómicos también se separan. (Rovelli, 2018)
- El *Falso Vacío*, teoría propuesta en los 80 por Sidney Coleman y Frank de Luccia. Presentaron un modelo que contempla una región del espacio metaestable, es decir, desprovista de materia, pero con fluctuaciones a niveles cuánticos. Si el frágil equilibrio de esa región se ve alterado, podría producirse una rápida expansión de ese vacío que alteraría la materia y leyes físicas de nuestro universo.

El universo se expande y como consecuencia de esto, nos dice Hubble, las galaxias se alejan unas de otras. La idea de que las galaxias se separan como lo hace la metralla en una explosión es totalmente errónea. Lo que se expande es, como ya sabemos, el propio espacio-tiempo. Para la física relativista, este tejido es considerado como una entidad con propiedades físicas, del mismo modo que pueden ser la masa, la presión o la energía. En el espacio-tiempo, la separación entre dos eventos es una función monótonamente creciente de las 4 dimensiones: el tiempo. Lo hace, no obstante, de forma particular pues su factor de crecimiento solo afecta a la parte espacial.

En dos dimensiones, por ejemplo, sobre un mapa, medimos las distancias según $ds^2 = dx^2 + dy^2$, esto es, según la geometría euclídea. En el universo, sin embargo, las distancias deben determinarse de otra manera. Para ello recurrimos a una ecuación diferente: $ds^2 = dt^2 - a(t)^2 dx^2$, donde $a(t)$ es el factor de escala que determina cómo crece la parte espacial en el tiempo. El espacio se diluye, y, por ello, las galaxias se separan con el tiempo (Rovelli, 2018).

Ocurre algo similar cuando pensamos en el final del universo. De entre las múltiples opciones que hemos visto con anterioridad para el final del universo, vamos a centrarnos en aquella que la ciencia considera como la más probable: el *gran enfriamiento* (la separación extrema de toda la materia) Supongamos que todo ocurre como las observaciones prevén y que, al final, todo

quedará en una sopa de radiación cósmica muy fría. Eso garantiza, al menos con lo que sabemos hasta ahora, que no existe la posibilidad de que un universo vuelva a crearse.

La pregunta entonces es casi instantánea. ¿cómo llegó ahí ese primer cuanto de energía? Responder haciendo alusión a argumentos teológicos o metafísicos nos llevaría mucho tiempo, así que vamos a quedarnos con la respuesta generalista: ese átomo primigenio es eterno. Resulta difícil encontrar entre los físicos y científicos una respuesta más específica. La falta de evidencia hace que, de forma general, la ciencia sea reacia a afrontar abiertamente esta discusión. No obstante, algunos divulgadores y astrónomos sí que han hablado acerca del tema concluyendo que, a falta de más investigación, debemos trabajar con la hipótesis de que se trata de una singularidad sin limitación temporal.

Veamos ahora qué ocurre con la segunda de las opciones expuestas: el *gran crujido*. Aunque mucho menos probable dadas las observaciones, podría ocurrir que todo el universo volviese a contraerse en una singularidad primitiva. Este proceso de expansión-contracción o de rebote se producirá de forma permanente en el tiempo. Volvemos a plantear la misma cuestión ¿cómo aparece la singularidad? Y de nuevo, la respuesta generalista: es eterna.

Para el problema epistemológico que estamos planteando, la verdad es que nos resulta indiferente cómo apareció la singularidad. El problema estriba en que, dada la propia estructura ontológica del ser humano, es decir, seres limitados y finitos, no tenemos la capacidad de representar en nuestra mente el concepto de eterno. Aquí alguien podría respondernos que estamos equivocados y que lo eterno sí es posible comprenderlo, de hecho, la ciencia lo puede explicar y, lingüísticamente, existen varias definiciones para el término. Por supuesto que es posible comprender, aceptar y definir lo eterno; lo que no podemos es representarlo en nuestras mentes de una forma completa. Sabemos que se trata de algo que estuvo siempre ahí, sin principio ni final y que, dependiendo de la fuente consultada, se añade que es perfecto e inmutable. Nosotros no hemos tenido nunca una relación sensible, es decir, sensitiva, con algo parecido.

Si sometemos la idea de eternidad a un examen riguroso y personal, y le damos vueltas durante un tiempo, antes que después nos aparecerá una limitación epistemológica natural que nos impide dar una forma bien definida a la idea. Únicamente podemos construir un vago arquetipo o una aproximación insípida, pero poco más. No podemos imaginar lo eterno del mismo modo que imaginamos un paisaje o un intervalo temporal de cinco años. Lo eterno carece de una base empírica o lógica que nos permita construir la representación.

Algo parecido debió pensar Descartes cuando aseguró que la idea de Dios llegaba a nosotros de una forma externa. El francés aseguraba que, dada nuestra naturaleza corrupta y finita, resultaba para nosotros imposible construir la idea de un ser divino, perfecto y eterno. La diferencia entre el argumento cartesiano y el que defendemos aquí es que, para Descartes, sí que es posible representar la idea de Dios; mientras que nosotros aseguramos que no es posible representar lo eterno, que únicamente podemos acercarnos, pero poco más.

El concepto de *nada* puede someterse igualmente a este análisis. Si un observador se encontrase presente en el momento último del universo, no podría percibir absolutamente nada. Ni sonido, puesto que no hay medio para propagar las ondas sonoras; ni luz, dado que, si aún hubiese alguna estrella emitiendo energía, esta se encontraría tan lejos que los fotones no tendrían tiempo para llegar a ninguna parte. Lo que tendríamos ante nosotros sería un infinito vacío, pero no la nada. Aún habría radiación, partículas de polvo y gas, y, por supuesto, el tejido espacio-tiempo. Si queremos adentrarnos, verdaderamente, en un intento por comprender este concepto, debemos viajar mucho más atrás, antes incluso del *Tiempo de Planck*. En ese momento, como ya hemos visto, solo existía la singularidad y nada más.

Muchos científicos, en tanto aparece la necesidad pedagógica de explicar “dónde” o “cuándo” se encontraba la singularidad primitiva, han intentado ofrecer una posible solución. Pero vamos a ver que esta solo se sostiene por un mal uso del lenguaje y que carece completamente de base argumental tanto empírica como lógica.

Tomemos el ejemplo de P. W. Atkins:

“Casualmente se dio una fluctuación y hubo un conjunto de puntos que, emergiendo de la nada y tomando su existencia de la pauta que formaron, determinaron un tiempo. La formación azarosa de una pauta concluyó en la aparición del tiempo a partir de los opuestos fundidos, su emergencia de la nada. De la nada absoluta, sin absolutamente ninguna intervención, empezó a ser una existencia rudimentaria. La emergencia del polvo de puntos y su organización casual en el tiempo fue la acción fortuita e inmotivada que los hizo existir. Los opuestos, las simplicidades sumas, emergieron de la nada” (Atkins, 1981. Pág. 90)

Juan Arana señala dos errores que comete Atkins en la comprensión de la nada. Por un lado, indica que esa “pauta que formaron” de forma inicial convierte el resultado del proceso en el propio inicio, dado que no preexistía ninguna formación anterior. De esta forma, se crea un círculo lógico que convierte el final en principio, dando como resultado una explicación que, en realidad, no amplía nuestro conocimiento. Se trata de una contradicción lingüística, de una paradoja de eterno-retorno.

Por otro lado, recurre al azar en numerosas ocasiones, siendo cierto que no existía ningún orden anterior que se pueda romper: “Si partimos de la nada, no existe determinación o necesidad inicial respecto a la cual se pueda decir que la pauta formada fue azarosa” (Arana, 2012).

A estos argumentos Arana, podríamos añadir todavía un tercero. Y es que Atkins está utilizando el concepto de nada de una forma vulgar, más bien parecida a la idea de un espacio vacío. Cuando afirma que “emergiendo de la nada” comete un error semántico. De donde no hay nada, nada puede emerger. No se trata de un espacio vacío en el que, por arte de magia, aparece una configuración que permite habilitar el tiempo. Todo se encontraba reducido a la singularidad, incluida la propia energía y el tejido espacio-tiempo.

Si la intención de Atkins es hacer referencia a que el tiempo emerge de la propia singularidad, entonces debería haber utilizado esta expresión y no decir que emerge de la nada. En la singularidad no podía existir la nada, más bien todo lo contrario. La existencia entera estaba reducida a esa partícula diminuta y primitiva y, fuera de ella, nada podía ser. Pero esta última expresión también es incorrecta dado que no podemos hacer ninguna referencia a “dentro” o “fuera” de la singularidad porque eso nos remite, nuevamente, a la idea de una pequeña pelotita que está flotando en medio de un inmenso vacío. En ese momento no existía el espacio, en tanto el tiempo aún no se había desplegado y, por ello, no es posible establecer referencia o dirección espacial alguna.

En nuestro lenguaje cotidiano, el concepto de nada se utiliza como sinónimo de vacío. Por ejemplo, una habitación vacía es una habitación que no contiene ningún objeto; pero, aun así, dentro de esa habitación se encuentra la pintura de las paredes, el vidrio de la ventana y hasta las losas del suelo. El vacío es la ausencia de cosas, pero no la nada. Para imaginar la nada habría que eliminar todo atisbo de materia y energía, aislarse del tejido espacio-tiempo, y, finalmente, suprimir la propia existencia. Ninguno de estos pasos es, cognoscitivamente, posible para el ser humano.

Nuestra imaginación tiene un límite y es, precisamente, el hecho de huir de las propias leyes naturales que configuran y articulan la propia existencia del universo que habitamos. Fuera de ellas, no podemos tener una representación fiel de estos conceptos.

8. EL AJUSTE FINO DEL UNIVERSO

En el capítulo anterior hemos visto que existen ciertos conceptos e ideas, como la eternidad o la nada, que, a pesar de su complejidad, son necesarios para explicar adecuadamente nuestros actuales modelos cosmológicos. La necesidad es un concepto filosófico que hace referencia a aquellos aspectos de la naturaleza que, por estar íntimamente ligados al desarrollo de un fenómeno, deben ocurrir inevitablemente. La ciencia es, en ocasiones, esquiva con la idea de que hay procesos necesarios, por ejemplo: algunos físicos explican la aparición de la singularidad primigenia como azarosa; la biología nos dice que la formación de la vida fue fruto de una serie de concatenaciones fortuitas; y, la química, que la aparición del agua en nuestro planeta es el resultado de una fabulosa combinación de lluvias de meteoritos junto con las condiciones ideales en las que se encuentra nuestro planeta (formación rocosa, órbita estable y adecuada distancia al Sol), (Arana, 2012)

El modelo de un universo inflacionario presenta varias magnitudes, fenómenos y elementos que podrían calificarse, fácilmente, de necesarios. Aunque son varios, se encuentran agrupados bajo la denominación de *ajuste fino* del universo. Este término aparece por primera vez en 1913 de la mano del químico Lawrence Joseph Henderson, autor de la famosa obra *The fitness of the Environment*. En esta, el norteamericano discutía la importancia del agua y del medio natural para la aparición de la vida y la manera en que esta influía de forma decisiva en su supervivencia y desarrollo.

Años después, en 1961, el físico Robert H. Dicke, continuó esta línea de pensamiento y añadió que, además del agua y la naturaleza del planeta, las cuatro grandes fuerzas físicas jugaban igualmente un papel fundamental (gravedad, electromagnetismo, nuclear fuerte y nuclear débil) Muchos otros físicos y astrónomos como John Gribbin o Martin Rees (quien trabajó en la complejidad orgánica de las primeras células eucariotas, es decir, con núcleo diferenciado) continuaron añadiendo otras tesis al concepto.

Así, la premisa quedaba clara: nuestro universo posee un ajuste tan fino y necesario que el más mínimo cambio o variación en las constantes físicas daría como resultado un cosmos completamente diferente e, incluso, inhabitable.

El propio Stephen Hawking escribió:

“Las leyes de la ciencia, tal como las conocemos en la actualidad, contienen muchos números fundamentales, como el tamaño de la carga eléctrica del electrón y la proporción de las masas del protón

y el electrón. El hecho notable es que los valores de estos números parecen haber sido ajustados muy finamente para hacer posible el desarrollo de la vida” (Hawking, 1988. Pág. 34)

Es más, el asunto es tan interesante y fomentó tantas discusiones, que es posible hacer un pequeño recopilatorio con algunos ejemplos de este ajuste fino. Veamos:

- (1) Según el físico Paul Davies, un incremento del 2% en la constante de acoplamiento sin ninguna variación en el resto de magnitudes que interactúan con la fuerza nuclear fuerte, habría originado la extinción de los núcleos de hidrógeno en los primeros minutos después del Big Bang. Esto originaría cambios drásticos en las estrellas que no podrían llevar a cabo el proceso de fusión normal que conocemos. (Collins, 2005; Davies, 1993).
- (2) Sabemos que la masa del neutrón es ligeramente más grande que la del protón: $m_n - m_p = 1.29\text{MeV}$ Esto conduce a la desintegración rápida del neutrón libre en un protón, mientras que el protón es muy estable. Tanto así, que se estima que su vida útil es de más de 10^{34} años. Si ocurriese de forma inversa, es decir, $m_n - m_p < 0$, el protón sería el que se desintegraría en un neutrón y las reacciones de fusión quedarían imposibilitadas. El único material que quedaría entonces en el universo sería el neutrino y ya sabemos que los elementos químicos no pueden formarse a partir de él. (Thuan, 1992).
- (3) La fineza de la constante cosmológica de expansión es, quizás, el argumento estrella. Si la constante fuese ligeramente mayor, provocaría una expansión tan rápida del cosmos que impediría cualquier formación de estrellas o galaxias. Por el contrario, si fuese algo menor, el universo colapsaría en un agujero negro de proporciones inconmensurables. Curiosamente, cada campo de la física que conocemos y estudiamos parece equilibrado con respecto a esta constante para que no se vea alterada: el campo electromagnético, los campos de Higgs, los campos asociados a partículas elementales o las interacciones de partículas teóricas como el dilatón en teoría de supercuerdas. Ese rango de la constante se encuentra entre 10^{-60} a 1, es decir, se trata de una cifra tan pequeña, que Thrin Xuan Thuan afirma que es la misma probabilidad de que un arquero alcance un objetivo de 1 cm^2 que se encuentre en el extremo más distante del universo, disparando una única flecha desde la superficie de la Tierra y sin conocer en qué dirección se encuentra ese objetivo. (Thuan, 1998; Soler Gil, 2012).
- (4) Existe una relación entre la energía gravitacional requerida para formar una galaxia y el total de su masa. Esta se sitúa en 10^{-5} . Si fuese algo mayor, las atracciones

gravitacionales serían demasiado violentas y no dejarían tiempo suficiente para que se formaran elementos químicos pesados que se agrupasen en el núcleo de la estrella; por el contrario, si esta se situase en un rango inferior, la atracción sería muy débil y los elementos químicos no podrían permanecer unidos. (Brad, 2014).

- (5) El ejemplo más antiguo lo encontramos en el *estado de Hoyle*, el tercer estado de energía más bajo del núcleo de carbono-12, con una energía de 7.656 MeV por encima del nivel del suelo. Según numerosos cálculos, si el nivel de energía del estado de Hoyle fuese inferior a 7.3 o superior a 7.9 MeV, no existiría carbono suficiente en todo el universo con el que sustentar la vida, es decir, sería un elemento muy reducido y escaso. Lo que hace del carbono un elemento común y abundante es, precisamente, que se encuentra entre esos parámetros. Algunos químicos han llegado a ajustar aún más el margen y afirman que no podría situarse fuera del rango 7.596 y 7.716 MeV. (Livio & Weiss, 1989).

8.1 Críticas a la tesis del ajuste fino

Vamos a exponer, de forma sucinta y personalizada, algunas de las críticas más notables a este modelo cosmológico:

- (1) Paul Davies coincide en que existe este ajuste fino, pero defiende que no es exclusivo para la vida con base en carbono. Podrían florecer otros sistemas biológicos con bases químicas diferentes a la nuestra y, en ese caso, habría que replantearse si el ajuste es para nosotros o para ellos. Esto significa que el universo ‘tolera’ ciertas estructuras compatibles con la vida, no que las diseñe de una forma específica. (Davies, 2003)
- (2) George F. R. Ellis afirma que ninguna observación astronómica hace viables estos ajustes. Los argumentos son, en el mejor de los casos, indirectos. Además, defiende que los modelos relativistas son compatibles con la existencia de otros universos burbuja, lo que significaría que el nuestro es solo uno de los múltiples mundos posibles. Así, el famoso ajuste no es más que las particularidades físicas de este universo. (Ellis, 2011).
- (3) Leonard Susskind, sostiene que, dadas las enormes distancias que separan los objetos en nuestro universo, es perfectamente plausible considerar que algunas zonas son más ‘amigables’ con la aparición de la vida que otras. Susskind explica que esto puede darse

por múltiples motivos, desde corrientes de energía oscura hasta simple azar. (Susskind, 2012).

Steven Weinberg rechaza el argumento del ajuste fino, en especial su incidencia sobre el ciclo químico del carbono. Si bien es cierto que el propio Weinberg reconoce no tener una explicación para estas magnitudes tan equilibradas, considera que solo es cuestión de tiempo e investigación el encontrar una respuesta acertada. (Weinberg, 1999).

(4) El físico estadounidense Víctor Stenger se opuso al ajuste fino por considerar que los argumentos se orientaban, de forma deliberada, a la defensa de la existencia de Dios. Considera que se trata de suposiciones fundadas en la idea de que únicamente es posible la vida con base en carbono. Stenger aboga, además, por reunir los esfuerzos de la comunidad científica en la búsqueda de una *teoría del todo*, la cual podría explicar y revelar las conexiones últimas entre las constantes físicas que posibilitan la vida, (Stenger, 2012). A su vez, estos argumentos de Stenger fueron rebatidos por Luke A. Barnes en una obra titulada *A Fortunate Universe: life in a finely tuned cosmos*.

(5) El filósofo Graham Priest, argumenta que la idea de un ajuste fino es errónea debido a que se construye sobre un razonamiento lógico equivocado. Priest se refiere con esto al *dialeteísmo*, es decir, la creencia de que existen proposiciones verdaderas cuyas negaciones también son verdaderas. En el dialeteísmo, asumir 'que α ' no implica aceptar también 'que no α '. Por esto, el razonamiento dialeteísta puede acabar por asumir cualquier cosa. Muchos defensores del ajuste fino asumen como posible el dialeteísmo y no tienen, por tanto, reparo en sostener tesis contradictorias. Para Priest, el dialeteísmo no es un sistema lógico en sí mismo ya que no tiene ningún tipo de limitación a la hora de tratar las contradicciones. (Priest, 1987).

8.2 Explicaciones alternativas

El matemático y filósofo William A. Dembski, junto con el bioquímico Michael Behe, decidieron abandonar la idea del ajuste fino en favor de considerar la tesis de un diseño inteligente. Argumentan que ciertas características del universo conocido, así como de los seres vivos que habitan nuestro planeta, se explican mucho mejor si todo se origina desde una causa inteligente y no por un proceso no dirigido como la selección natural o el propio ajuste fino. (Meister, 2009)

Esta misma línea argumental es la que siguió el teólogo Richard Swinburne, quien concluyó que el diseño inteligente es una opción plausible y realizó diferentes cálculos utilizando un tipo de probabilidad conocida como *bayesiana*. Esta permite razonar con hipótesis, es decir, permite utilizar premisas cuya veracidad o falsedad son inciertas. (Swinburne, 1990)

Otra de las explicaciones a este aparente equilibrio consciente del cosmos, llegó de la mano de Stephen Hawking y Thomas Hertog. Propusieron que las condiciones iniciales del universo consisten, en realidad, en una ‘superposición’ de muchas condiciones iniciales posibles, de las cuales, solo una pequeña porción es visible hoy día. Según su teoría, es inevitable que encontremos las constantes físicas ‘ajustadas’ en nuestro universo, ya que son las que han conducido a la aparición de la vida. De esta manera, Hawking y Hertog evitan cualquier invocación ontológica a la constitución del universo y dan pie a una teoría evolutiva mucho más desarrollada (Hawking, 2006).

El cosmólogo Alan Guth, quien formuló una de las primeras teorías del universo inflacionario, considera muy posible que, en el futuro, los seres humanos puedan generar nuevos universos. Para Guth esto no es ciencia ficción. Sostiene que, en algún momento, seremos capaces de crear un universo en un laboratorio con nuestras propias leyes físicas. De ser esto viable, aparece la opción de que nuestro universo obedezca a un diseño inteligente creado, no por Dios, sino por seres de otros mundos (Guth, 2002).

Aunque hablaremos de esto con más detalle en las conclusiones, podemos ver que alcanzar una respuesta cerrada en este sentido se nos antoja una tarea difícil en extremo. La línea que separa física de metafísica se vuelve, por momentos, casi invisible. Ciertos asuntos no pueden explicarse de una forma empírica o matemática y necesitan, inevitablemente, de cierta especulación. Esta idea, como ya sabemos, se ha mantenido presente en todo nuestro estudio.

9. CRÍTICAS AL MODELO INFLACIONARIO

Una gran parte de los críticos con el modelo inflacionario sostienen que, en su intento por generar un cosmos dinámico desde la singularidad, este diseño presenta relaciones físicas que son realmente difíciles de explicar. Muchas de ellas parecen puestas ‘a propósito’ para que el esquema general tenga sentido. Suelen contrargumentar a estas críticas que la inflación no es un modelo cerrado, sino en desarrollo, y, como tal, aún necesita de investigación y experimentación. Además, no se trata de una teoría del todo que pretenda explicar el conjunto absoluto de interacciones entre leyes y materia.

Uno de esos problemas que algunos cosmólogos tachan de incomprensible es el de la planitud. Existe la evidencia de que, a gran escala, nuestro universo parece completamente plano. Tanto así, que su curvatura global es prácticamente nula, es decir, $K \approx 0$. En pequeñas escalas, por ejemplo, cerca del agujero negro del centro de nuestra galaxia, esto no se cumple. A estos niveles, la curvatura es mucho más perceptible.

Pero tengamos en cuenta que el parámetro de densidad Ω se relaciona con la curvatura K , con la constante de Hubble H y con el factor de escala a , mediante la relación:

$$\Omega t - 1 = Ka^2tH^2t$$

Solo si, inicialmente $K = 0$, el valor de Ω se mantiene constante. Pero si la curvatura no fuese exactamente 0, entonces ocurre que $\Omega(t)$ se aleja de 1 conforme el universo se expande.

Actualmente el valor de Ω es cercano a 1, es decir, el universo se encuentra cerca de la planitud ideal. Resulta difícil de explicar que, por simple azar, el valor de Ω esté tan cerca del 1. Por eso, muchos cosmólogos consideran que es altamente improbable que el universo se encuentre tan cerca de la planitud perfecta si tenemos en cuenta todos los valores posibles que hay.

Las soluciones propuestas abarcan el diseño inteligente, fallos en las mediciones o un razonamiento incorrecto que nos hace ver problemas donde, quizás, solo encontramos a la naturaleza actuando de forma autónoma.

Otro dilema que aún tenemos que solucionar es el de por qué el universo parece estadísticamente homogéneo e isótropo de acuerdo al principio cosmológico inflacionario (Weinberg, 1971). Pongamos un ejemplo para ilustrar este asunto. Si tomamos un bote de cristal y lo llenamos con un gas cualquiera, podremos observar que las moléculas se encuentran distribuidas de forma homogénea e isotrópica porque están en equilibrio térmico, es decir, el gas ha tenido tiempo suficiente dentro del bote para repartirse a lo largo y ancho de todo el

espacio disponible. Pero ¿cómo es esto posible en un universo de rápida expansión? Hay regiones del espacio que nunca han estado en contacto como para equilibrarse entre ellas. Argumentar que alcanzaron esta homogeneidad en los primeros instantes de expansión carece de lógica dado que: primero, la mayoría de metales pesados aún no se habían formado; y, segundo, no hubo tiempo suficiente para que este proceso de equilibrio se produjese.

Una de las soluciones más aceptadas fue propuesta por Lemaître y Richard Tolman, quienes argumentaron que en el universo se producen ciclos de contracción y expansión a pequeñas escalas que posibilitan el equilibrio térmico (Lemaître, 1993; Tolman, 1934).

Otro asunto espinoso es el de la propia inflación ya que, tal como se presenta, esta tiende a infinito. Hoy día, las formulaciones matemáticas restringen su actividad y limitan su potencial conforme avanza el tiempo, pero también es cierto que en teorías de cuerdas las fluctuaciones en niveles cuánticos pueden hacer que vuelvan a niveles anteriores.

El paradigma inflacionario predice la inflación invocando la partícula del *inflatón*, que no coincide ni se relaciona con ningún campo físico conocido, en otras palabras, se trata de una partícula únicamente postulada en la teoría. Alexander Vilenkin desarrolló en los años 80 la tesis de que, en determinadas regiones del espacio, el inflatón fluctúa de forma ascendente y provoca una expansión acelerada, mientras que en otras en las que su energía potencial es menor. Otra lectura de este estado sería que cualquier teoría inflacionaria con un potencial no acotado, sí tiene tendencia infinita (Vilenkin, 1983). Pero entonces aparece la necesidad de considerar el espacio-tiempo inflacionario con una región de contracción. En esta zona, las fluctuaciones contrayentes colapsarán y darán paso a la singularidad gravitacional, un punto donde las densidades llegan a ser infinitas (por ejemplo, en el borde de un agujero negro) Es necesario, entonces, recurrir nuevamente a las condiciones iniciales para explicar cómo actúa el inflatón en estas circunstancias.

Algunos físicos han intentado solventar el problema de las condiciones iniciales proponiendo universos eternamente inflacionistas. Recordemos que ya tratamos este asunto en el epígrafe 8 donde hablamos de la eternidad. El problema es que esto no ofrece ninguna solución razonada al origen de la singularidad y sus interacciones.

Hawking y Hartle propusieron el *estado de Hartle-Hawking* en el que la inflación sucede, no motivado necesariamente por la acción de una partícula concreta, sino de forma natural (Hartle, J.; Hawking, S., 1983) Algunos tacharon esta propuesta de oportunista en tanto, recurriendo al azar, pretende evadir el problema.

Alan Guth, quizás un poco sobrepasado por la cuestión, propuso la idea de considerar el universo inflacionario como ‘un buffet libre’ La idea es que la formación de nuevos universos es continua y permanente en un fondo vasto inflacionario. Las interacciones gravitacionales, de las que hablamos antes, no violan en este caso ni la primera ni la segunda ley de la termodinámica, así como tampoco la flecha del tiempo. Sin embargo, en tanto hay un consenso en que esto soluciona buena parte del conflicto de las condiciones iniciales, otros autores como Donald Page han considerado que esto es pura especulación sin base verificable y que es, dadas las observaciones de que disponemos, mucho más creíble un universo que provenga de una fluctuación cuántica (Page, 1983).

A todo lo mencionado, es necesario añadir que el final de la inflación producida por el inflatón es un proceso conocido como *recalentamiento* o *termalización*. Llegados a ese punto, la gran carga de energía potencial acumulada en las partículas del inflatón se descompone y llenaría el universo con una altísima radiación. Como la naturaleza del inflatón solo es teórica, este proceso sigue siendo incomprendido y no es posible dar una solución acertada al final de la vida de esta partícula.

El español Jesús Mosterín, filósofo y matemático, prestó especial atención al análisis epistémico de las teorías cosmológicas y a la fiabilidad de las pretensiones del modelo inflacionario. Junto a John Earman, concluyó que, a pesar de la enorme aceptación que genera la inflación en la comunidad científica internacional, la realidad es que tanto las razones teóricas como empíricas argumentadas resultan insuficientes para explicar el proceso en su conjunto. Para Mosterín, la especulación juega un papel destacado en este modelo (Mosterín, 2000). El bilbaíno ha mostrado los múltiples malentendidos que subyacen a una concepción excesivamente antropocéntrica del cosmos, así como al uso interesado de planteamientos teístas.

10. CONCLUSIONES

El pivote central sobre el que ha girado este trabajo de fin de grado ha sido el modelo cosmológico del universo inflacionario. Las mediciones realizadas por Hubble, si bien no configuraron el modelo en su totalidad, sí que fueron decisivas en su diseño. No es posible hablar de un modelo cerrado porque, como hemos visto, la física cuántica está modificando sustancialmente el fondo del mismo. Con esto, aparece el problema que hemos señalado y tratado con claridad: los modelos cosmológicos contemporáneos, excesivamente matematizados, resultan distantes y extraños. Pero, a pesar de ello, hemos visto que no es posible ofrecer una alternativa ya que la propia complejidad del universo solo puede explicarse a través de un modelo físico. Simplificar estos esquemas para hacerlos asequibles al público en general reduce su credibilidad y veracidad. Nuestra propuesta pasa por construir una nueva cosmología humanista que no olvide las grandes cuestiones que han servido de guía para la exploración cósmica durante generaciones.

Resolver alguno de los problemas que hemos presentado, como el ajuste fino del universo, no pasa únicamente por la física. La teología o la metafísica tienen mucho que decir en este sentido. Aunque muchos autores quieran hacerlas pasar por disciplinas anticuadas y añejas, lo cierto es que son muy útiles para reorientar nuestra investigación en el universo. Si estudiamos la física aristotélica, veremos que es imposible comprenderla sin su metafísica. Concluimos que este es un segundo argumento válido que refuerza nuestra tesis humanista.

Otro de los problemas detectados tiene que ver con el uso del lenguaje que utilizamos en cosmología. Términos como *eternidad*, *cuarta dimensión* o *nada* conducen la mayoría de las veces a error. Este es un buen terreno de juego donde filósofos y físicos pueden volver a darse la mano. La filosofía, en su faceta analítica, tiene la obligación de configurar la semántica cosmológica para que las explicaciones de esta sean lo menos confusas posibles. En este sentido, la filosofía analítica, sumada al humanismo, abren una nueva vía de exploración donde los modelos físicos de la cosmología moderna puedan empezar a clarificarse y resultar más atractivos para todo aquél que aspire a la verdad.

Aunque hemos presentado al final de esta investigación una serie de críticas al universo inflacionario, no es nuestra intención convertirnos en objetores de modelo. La ciencia y la filosofía solo progresan en tanto corrigen sus fallos, y estos solo pueden ver la luz desde la crítica. Este es el principio filosófico que nos ha movido en este trabajo de fin de grado: la crítica, no como rechazo, sino como la capacidad de mejorar.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alcalde, S. (2022). Captan primera imagen de un agujero negro masivo en el centro de nuestra galaxia. *National Geographic*. Recuperado 5 junio de 2022 de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/captan-primera-imagen-agujero-negro-masivo-centro-via-lactea_18244
- Ananthaswamy, A. (2012). Is the Universe Fine-Tuned for Life? *NOVA / PBS*. Recuperado 10 mayo de 2022 de <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/is-the-universe-fine-tuned-for-life/>
- Arana, J., López-Corredoira, M., Soler, F. J., Trujillo, I., & Sanromà, M. (2012). *La cosmología en el siglo XXI: entre la física y la filosofía*. Publicaciones URV. Tarragona.
- Atkins, P. W., (1981) *La creación*. Guadarrama. Madrid.
- Ayer, A., (1959) *Verification and experience. Logical positivism*. The Free Press. Illinois.
- Brown, H.; (1983) Incommensurability, *Inquiry*. 26:1, 3-29, DOI: 10.1008/00201748308601983
- Carnap, R., *The Methodological Character of Theoretical Concepts*. The foundations of science and the concepts of psychology and psychoanalysis. Minneapolis: University of Minnesota Press. (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 1) (1956)
- Collins, R., (2003). La Evidencia del Ajuste Fino. F. J. Soler Gil, ed. y trad., *Dios y las cosmologías modernas*. Madrid: BAC, pp. 21-47.
- Davies, P. C. W., (1982). *The Accidental Universe*. University Press. Cambridge.
- _____. International Journal of Astrobiology , Volume 2, Issue 2, April 2003, pp. 115 - 120
- Ellis, G. F. R., (2011). *Does the Multiverse Really Exist?* Scientific American. https://www.scientificamerican.com/article/does-the-multiverse-really-exist/?error=cookies_not_supported&code=af8155b4-7aaf-42e7-b031-628dc63c2c20
- De Vaucouleurs, G., (1970). The Case for a Hierarchical Cosmology. *Science*. 167, 3922.

- Estany, A., (1993) *Introducción a la filosofía de la ciencia*. Crítica. Barcelona.
- Friedrich, B., Herschbach, D., "Stern and Gerlach: how a bad cigar helped reorient atomic physics" *Physics Today*, 56, (12) 53. (2003)
- Dalarsson, N., & Dalarsson, N. (2015). *Tensors, Relativity, and Cosmology*. Elsevier Gezondheidszorg.
- Hempel, C., (1958) The theoretician's dilemma. A study in the logic of theory construction. Pp. 37-98, in: FEIGL, Herbert; Scriven, Michael; Maxwell, Grover (eds.). *Concepts, Theories, and the Mind-Body Problem*. Minneapolis: University of Minnesota Press. (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 2.
- Hawking, S. (2011). *A Brief History of Time*. Adfo Books.
- ____ Hetog, T., (2006) Populating the landscape: a top down approach. *Phys. Rev. D* 73, 123527 – Published 23 June 2006
- Kuhn, T., (1982) *La tensión esencial. Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en ámbito de la ciencia*. Trad. Roberto Helier. México: Fondo de Cultura Económica y CONACYT.
- Lemaître, G; Eddington, A. S., (1931) The Expanding Universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 91, Issue 5, March 1931, Pages 490–501,
- Livio, M., Hollowell, D., Weiss, A. (1989). The anthropic significance of the existence of an excited state of ^{12}C . *Nature* 340, 281–284. <https://doi.org/10.1038/340281a0>
- Corredoira, L. M. (2015). *Voluntad*. Era Nuestro, S.L. Madrid.
- Mason, S. F., & Santos, C. S. (2012). *Historia de las ciencias*. Grupo Editorial Patria. Ciudad de México.
- McCrea, W. (1934). Relativity Thermodynamics and Cosmology. By R. C. Tolman. Pp. xv, 502. 30s. 1934. *International series of monographs on physics*. (Oxford). The Mathematical Gazette, 18(231), 327-328. doi:10.2307/3605486.
- Meister, C. (2009). *Introducing Philosophy of Religion*. Taylor & Francis. Londres.
- Milone, R. A. (2019, abril). Carga teórica de la observación: perspectiva de Norwood Russell Hanson. (AFHIC) Recuperado 15 de abril de 2022 de <https://www.afhic.com>

- Mosterín, J. (2000). Observation, Construction and Speculation in Cosmology. In: Agazzi, E., Pauri, M. (eds) *The Reality of the Unobservable*. Boston Studies in the Philosophy of Science, vol 215. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9391-5_16
- Page, D. N., (1983) Inflation does not explain time asymmetry. *Nature*, pág. 304.
- Peebles, P. J., & Peebles, P. J. (1993). *Principles of Physical Cosmology*. University Press. Amsterdam.
- Pérez Rivas, D. A., (2016, 29 abril). Einstein, Edington y la teoría de la relatividad. *Protrepis*, 5(9–10). Recuperado 2 de mayo de 2022 de https://www.academia.edu/34055286/Einstein_Eddington_y_la_teor%C3%ADa_de_la_relatividad
- Priest, O. P. G. (2006). *In Contradiction: A Study of the Transconsistent* (2nd Expanded ed.). Clarendon Press.
- Rioja, A., Ordóñez, J., (2006). *Teorías del universo vol. III*. Síntesis. Madrid.
- Rovelli, C. (2018). *El orden del tiempo* (Edición estándar ed.). Anagrama. Madrid.
- Sandage, M., Sandage, M., Kristian, J., & Jerome Kristian. (1975). *Galaxies and the Universe*. University Press. Amsterdam.
- Sanromá, M., Arana, J., López-Corredoira, M., Soler, F. J., & Trujillo, I., (2012). *La cosmología en el siglo XXI: entre la física y la filosofía*. Publicaciones URV. Tarragona.
- Solway, A. (2015). *Why Is There Life on Earth?* Capstone.
- Stenger, V. J., (2003) Is the universe fine-tuned for us? *Semantic Scholar*. Recuperado el 20 abril de 2022 de <https://www.semanticscholar.org/paper/IS-THE-UNIVERSE-FINE-TUNED-FOR-US-Stenger/6f7f48e2363c075315a819ccf878f01db96c7b27>
- Swinburne, Richard (2003). The argument to God from fine-tuning reassessed. In Neil A. Manson (ed.), *God and Design: The Teleological Argument and Modern Science*. Routledge. pp. 80 -105.
- Trinh, X. T. (2000). *Le chaos et l'harmonie*. Gallimard.

Vilenkin, A., (1983) *The birth of inflationary universe*.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.27.2848>

Weinberg, S., (2014, septiembre) *A designer Universe?* Recuperado 16 mayo de 2022 de:
<https://rtraba.files.wordpress.com/2014/09/adesigneruniverse-weinberg.pdf>

____ (1972). *Gravitation and Cosmology*. Wiley. Nueva Jersey.

Weinberg, S., & Míguez, N. (2016). *Los tres primeros minutos del universo* (1.^a ed.). Alianza.

Weinberg, S., & de Campos, T. (1995). *The Quantum Theory of Fields*. University Press.
Cambridge

11. 1 Ilustraciones

FIGURA 1: Jeremykemp. (2005, 2 octubre). *Efecto Doppler* [Ilustración]. English Wikipedia.
Recuperado 1 marzo de 2022 de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Doppler-effect-two-police-cars-diagram.png>

FIGURA 2: Sirius.nf. (2014, 23 junio). *Corrimiento al rojo producido por el efecto Doppler*.
[Ilustración]. Recuperado 1 mayo de 2022 de
<https://spaceschemes.tumblr.com/post/89626654326/efecto-doppler-corrimento-al-rojo>

FIGURA 3: (2009, 10 enero) Espín. [Ilustración] Recuperado 4 junio de 2022 de qstudy.com