

UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A
DISTANCIA



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Guerras en la ciencia: la controversia de la materia oscura

Autor: Alberto Isaba Lacabe

Directora: Montserrat Cañedo Rodríguez

Departamento de Antropología Social y Cultural
Facultad de Filosofía

21 de septiembre de 2018

Índice general

Declaración jurada de autoría de trabajo científico	I
1. Introducción	1
1.1. Justificación	1
1.2. Definición resumida del problema	3
1.3. Objetivo general	4
1.4. Metodología	4
1.5. Organización del trabajo	5
2. Marco teórico	7
2.1. Episteme	9
2.2. Paradigmas	13
2.3. Infraestructuras	16
2.4. Cajanegrización	21
3. Los modelos enfrentados	25
3.1. El modelo Λ CDM	26
3.2. La materia oscura	28
3.3. Otros modelos	30
3.4. El modelo MOND	32
4. La controversia de la materia oscura	35
Organización social y capital científico	45
5. Principales conclusiones y vías para continuar	50
A. Diapositivas	55
B. Inscripciones	57
Bibliografía	59

Capítulo 1

Introducción

1.1. Justificación

La base de la justificación, como casi siempre en estos casos, es personal: desde niño me ha fascinado el cielo. El cielo por lo menos en un primer momento, más tarde llegó el universo y todas las extrañas y fascinantes historias que leía sobre su composición, formación, extensión y seguro fin. Con el paso de los años he ido informándome sin demasiada constancia ni profundidad sobre todo lo concerniente a lo que la ciencia tenía que decir al respecto de diferentes formaciones estelares como cúmulos galácticos, nebulosas, agujeros negros, estrellas de neutrones, etc. Y, sin embargo, algo no termina de cuadrar; sobre todo a raíz de la sistematización de mi estudio de la antropología comienzo a descubrir otro "universo": el de las diferentes cosmovisiones y el de ser consciente que esa ciencia no era lo que yo creía hasta entonces.

Como anécdota contaré que una de estas cuestiones surge hace tres años, mientras cursaba Evolución Humana II en una conversación distendida con una amiga farmacéutica y bioquímica a la que le pregunté sobre ciertos conceptos que no me sentía capaz de asimilar correctamente. En dicha conversación salió a relucir el concepto de sistema dinámicos complejos y el caso de los extremófilos¹. La cuestión deriva en la posibilidad de vida fuera de la química del carbono y en la reciente y explosiva relevancia cualitativa

¹ Seres vivos que han desarrollado estrategias de vida en condiciones muy extremas (Ramírez Goicoechea, 2013, p.104-105)

y cuantitativa de los hallazgos de exoplanetas² en la zona habitable³, casi siempre mediante la técnica de tránsito⁴. El debate pasó a las ontologías y conceptos sobre lo que es la vida que hacen mirar en cierta dirección, condicionando la mirada, los instrumentos empleados y aquello que se busca. Como no podía ser menos, salí mal parado del debate ya que mi argumentario por aquella época era bastante pobre y bastante intuitivo.

Dado que ni en los estudios de Grado ni de Máster he tenido la oportunidad de profundizar en ámbito de la llamada "antropología de la ciencia" y dada mi simpatía hacia la ciencia en general, pensé que sería una muy buena idea para completar mi formación abordar este ámbito temático. No voy a ocultar que me ha resultado muy difícil. Esto ha sido debido, en primer lugar, a que he tenido que traspasar ciertas barreras conceptuales que daba por sentadas y casi por incuestionables. No me ha resultado nada fácil llegar a asumir que la ciencia es un sistema de conocimiento localizado, parte de una visión concreta y llena de carga política tanto en su mirada como en su praxis, es contingente, no es lineal y, definitivamente, ni es ni se desarrolla tal y como nos la presentan.

Concretamente, en la perspectiva naturalista occidental actual, la ciencia (y en nuestro caso, la astrofísica y la cosmología) goza de una posición privilegiada y un estatus alto de racionalidad, objetividad y exactitud. Se presenta como una evolución gradual y acumulativa de conocimientos debidos a descubrimientos e inventos perfectamente diseñados con el objetivo de preservar esa objetividad y asepticidad en los datos que producen, además de ser siempre única y exclusivamente en beneficio de la ciencia y el conocimiento.

Sin embargo, como evidenciaremos a través de este estudio y apoyándonos en otros estudios similares, la ciencia es un producto humano y en la elaboración de teorías (pero también en los instrumentos, los modelados y los experimentos) que expliquen lo que se observa (o "se fabrica") van imbricados planteamientos políticos, económicos, ontológicos, epistemológicos, etc. que hacen que la ciencia sea eminentemente contingente y su historia abrupta y con numerosas rupturas y reorientaciones.

² Planeta de sistemas solares diferentes al nuestro.

³ Zona variable según la actividad de cierta estrella en la que la temperatura puede permitir la posibilidad de encontrar agua líquida y, por ende, albergar vida, según los parámetros establecidos.

⁴ Técnica consistente en analizar la cantidad de luz que disminuye regular y cíclicamente y que lleva a los científicos a inferir que allí hay un objeto de cierto tamaño que orbita a esa estrella. Mediante cálculos se infiere tamaño, masa, etc.

1.2. Definición resumida del problema

En la actualidad se está llevando a cabo un debate dentro de la comunidad científica dedicada a la astrofísica y a la cosmología en torno a la validez del planteamiento de la existencia de una "materia oscura" (diferente de la "energía oscura", ambas serán explicadas convenientemente).

Desde el modelo de universo inflacionario surgido con el Big Bang, dicha materia "debe" existir para que las fórmulas que sustentan todo el modelo cosmológico y cosmogónico científico (fórmulas que vienen de tiempos de Newton) sigan siendo válidas. Sin embargo, después de casi un siglo desde la predicción de la materia oscura de composición desconocida, aún no se han encontrado evidencias de su existencia más allá de ciertos efectos que esta presumiblemente produciría.

Esta situación parece que comienza a pesar dentro de la comunidad científica y comienzan a cobrar importancia modelos alternativos que pasan por una modificación de la física aplicable a este ámbito desde Newton o la inclusión de otros tipos de candidatos a producir los efectos que hasta la actualidad se atribuían a la hipotética materia oscura de composición desconocida. El modelo alternativo más activo y exitoso hasta la fecha es el que cuestiona precisamente la segunda fórmula de Newton y en ellos centraré este estudio de controversia.

La adopción de esta solución implicaría el abandono del paradigma ⁵ actual alrededor de la existencia de materia (y energía) oscura, y más aún, toda las formulaciones aplicadas a la física que asientan todo el andamiaje científico alrededor de la concepción del universo, desde su composición hasta su estructura y funcionamiento, y tiene incluso implicaciones en las teorías sobre su origen, decurso y posible fin.

Sin embargo, lo que en principio se presenta (o presentan los propios científicos) como un problema exclusivamente "técnico" o "científico", sin otro tipo de condicionantes (conforme a la concepción moderna de la ciencia) no es tal. Sin entrar al debate entre internalistas y externalistas ⁶, la perspectiva de este trabajo es la de que "lo científico" está imbricado con "lo político", con "lo social", con "el prestigio", etc. y con la "praxis" de los científicos en el desarrollo de sus actividades valiéndose de una infraestructura. La

⁵ En el sentido que le otorga Kuhn (2004) un paradigma sería tal vez algo más amplio, a pesar de que, como veremos, las implicaciones de esta controversia son profundas. En cualquier caso, utilizaré el concepto de paradigma y al final del trabajo valoraré si podemos hablar de un cambio de paradigma o no

⁶ Para una aproximación a este debate se puede consultar, entre otras, Medina (1983)

"ciencia en estado puro" tal y como se pretende presentar desde ciertos ámbitos⁷ es una quimera.

1.3. Objetivo general

El objetivo general es el de hacer un análisis en clave antropológica de esta controversia como estudio de caso para tratar de sacar a la luz los aspectos ontológicos, epistemológicos, metodológicos, políticos y sociales imbricados en las diferentes teorías científicas enfrentadas tal y como los presentan los propios agentes de la controversia y tratando de hacer una interpretación en clave antropológica de todo ello.

1.4. Metodología

Instrumentos y técnicas de producción de datos

En esta primera fase sin trabajo de campo pretendo analizar fuentes documentales primarias y secundarias en torno a esta controversia que será presentada como estudio de caso. Como fuentes primarias manejo "papers" científicos, libros de divulgación de los principales agentes y conferencias de científicos implicados en la controversia. Como fuentes secundarias libros de texto y de divulgación, artículos de prensa y entrevistas a agentes señalados.

Análisis de controversias

Como he dicho más arriba, lo que presento en este trabajo es un análisis de una controversia, concretamente la referente a la materia oscura en el modelo cosmológico imperante en la actualidad. Aunque en este caso de estudio no se trata de una controversia del pasado sino que sigue abierta y tal vez no haya hecho más que comenzar, no difiere demasiado a la hora de aprovechar las ventajas de un análisis historiográfico de controversias como lo presentan Shapin y Schaffer (2005, pág. 34)

⁷ Uno de ellos, aplicable por completo a esta investigación, es el de los "divulgadores científicos", quienes dan una visión lineal, progresiva y aséptica de los giros, quiebros, controversias, procesos sociales, etc. y producen una visión popular de la ciencia como la descrita.

Así, siguiendo a estos autores, en primer lugar comprobaremos que nos hallamos ante desacuerdos acerca de la "realidad o propiedades cuya existencia o valor son sucesivamente tomadas como no problemáticas o establecidas". En segundo lugar, veremos que los agentes en la controversia "intentan deconstruir las creencias y prácticas preferidas de sus antagonistas que se han sedimentado, y hacen esto tratando de desplazar el carácter artificial y convencional de esas creencias y prácticas." En cualquier caso, trataré de mantener la posición del *extraño* y no validar el análisis de ninguna de las dos partes, simplemente trataré de hacer "notar las estrategias constructivas y deconstructivas empleadas por ambos lados de la controversia" y trataré de interpretarlas.

Puede que no sea fácil por dos simples razones: la primera es que desde el sector inmensamente mayoritario en la controversia se sigue manteniendo el mutismo y simplemente se ignoran los ataques del sector minoritario y siguen con sus investigaciones "como si pasara nada"⁸. Esto inevitablemente me expone mucho más a las argumentaciones de una de las dos partes. La segunda es consecuencia de la primera y consiste, como apunta Sismondo (2010) en que "un artículo científico (...) bien construido está diseñado para convencer a los lectores a través de los datos que aporta, los otros artículos citados, sus líneas argumentales, el lenguaje que usa, etc." (traducción propia), Latour (1992) hablaría de *ganar aliados*. Espero que no sea el caso y que siga permaneciendo como "el extraño" en esta controversia.

1.5. Organización del trabajo

Este trabajo se divide en cinco partes, siendo la primera esta introducción. La segunda parte traza el marco teórico con el que voy a trabajar el material empírico. La tercera parte describe someramente el marco general de la cosmología científica eurooccidental contemporánea y particulariza las características y conceptos fundamentales de los dos modelos enfrentados en la controversia. En la cuarta parte me centraré en el material producido por los partidarios del modelo alternativo al imperante. Como ya he mencionado, esto se debe a que, siendo la hipótesis de la materia oscura ampliamente aceptada en la academia e incluso con numerosos laboratorios y partidas presupuestarias dedicadas a su búsqueda, por ahora no hay planteamientos académicos sólidos que

⁸ Como ejemplo, ver cita en diapositiva 5 del anexo A atribuida a Anatoly Klypin: "We don't have to explain MOND!".

defiendan dicha hipótesis frente a los partidarios de teorías alternativas⁹. Aunque, evidentemente, ignorar al contrincante es una forma de defensa (o de ataque), en el material empírico producido por el sector oficial escasean las referencias explícitas que buscaba. La quinta y última parte de este trabajo resumirá las principales conclusiones y las posibles vías para continuar con este estudio especialmente con trabajo de campo. Como ya he mencionado, el texto que presento realiza un análisis de controversia sin trabajo de campo. Sin embargo, el planteamiento de este estudio que ahora presento es el de realizar una primera y necesaria aproximación a dicha controversia para, en lo sucesivo, realizar trabajo de campo mediante observación participante, entrevistas semiestructuradas, etc.

⁹ Sí existen, sin embargo, varias publicaciones personales principalmente en blogs de internet que defienden la materia oscura y/o atacan a las teorías alternativas. Por ejemplo <https://francis.naukas.com/?s=MOND>

Capítulo 2

Marco teórico

Desde la disciplina antropológica se han abordado estudios en torno a la astronomía principalmente desde dos perspectivas. Por un lado podemos encontrar estudios en diferentes contextos etnográficos de la propia astronomía. Así, Rodas Quito (2011) hace un compendio de los diversos enfoques seguidos desde esta disciplina en torno a los usos culturales del cielo y la astronomía en diferentes contextos etnográficos, como son los enfoques de la etnoastronomía (Belmonte Avilés, 2006), arqueoastronomía (Rodas Quito, 2011) y Astronomía Cultural (Iwanieszewki, 2009)

Como un segundo enfoque puedo apuntar a los llamados estudios sobre "Ciencia, Tecnología y Sociedad" (CTS o STS en inglés: Science and Technology Studies), bajo cuyo paraguas en ocasiones un tanto genérico se han incluido estudios en torno a este ámbito como por ejemplo Felt y col. (2017), Jasanoff y col. (1995). D. J. Haraway (1985), Rabinow (2003) Latour (1992), etc.

Efectivamente, los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad no forman un corpus homogéneo. Desde sus inicios sociológicos en la década de 1940 con Merton al frente, se han sucedido diferentes escuelas, corrientes, perspectivas, focos de interés e incluso se han acercado o alejado de ciertas disciplinas como sociología o antropología¹, de manera que creo importante contextualizar el enfoque que voy a adoptar en el desarrollo de este trabajo y hacer una declaración explícita del mismo.

Para Fischer (2007) hay cuatro momentos genealógicos que distinguen los estudios antropológicos de ciencia y tecnología que han conformado los estudios que se llevan a

¹ Para una visión detallada de la génesis y desarrollo de estos estudios se puede consultar Hess (1997) o Sismondo (2010).

cabo en la actualidad. No creo relevante pormenorizarlos aquí, pero sí me interesa destacar un análisis del artículo aplicable a la antropología de la ciencia que se lleva a cabo en la actualidad que me parece importante mencionar y recordar como marco general en el que pretendo inscribir mi análisis:

(...) las etnografías producidas por estos estudiosos se ven diferentes de las de la tradición SSK, SCOT o ANT². Tienen una gama más amplia de actores, responsabilidades institucionales, economía política y enfoque mediático, análisis cultural vinculado a la clase y otros intereses. Lo que los convierte en "estudios de ciencias" en oposición a las obras antropológicas generales es que también muestran un intenso interés en los materiales, herramientas, ensamblajes tecnológicos y objetos epistémicos de las ciencias y las tecnologías de ingeniería, y cómo éstos a su vez estructuran el mundo en formas no intuitivas. Fischer (2007, p.563 - traducción propia)

Sin embargo, parece que el ámbito de la ciencia astronómica no ha resultado muy fructífero en este segundo enfoque. no sé si interpretar este hecho como una percepción por parte de los estudiosos de que es un ámbito un tanto lejano, a diferencia de estudios sobre biotecnología, software, redes informáticas y comunicaciones, etc.. Este trabajo que presento y, a pesar de que en este caso me voy a centrar en un análisis de controversia en el ámbito de la ciencia astronómica o cosmológica eurooccidental, se puede encuadrar dentro de este ámbito general de estudio de antropología de la ciencia, tecnología y sociedad.

Así, a modo de declaración de intenciones y al mismo tiempo casi como disculpa por el escaso margen de exposición disponible, paso a abordar que va a ser el marco teórico de esta investigación. Para disponer de una perspectiva general previa puedo resumirlo de manera un tanto superficial de ese modo: en nuestra época y nuestro entorno cultural existe una *episteme* entendida como una visión general implícita y naturalizada sobre el mundo que también afecta, como no podría ser menos, la mirada científica contemporánea y esta, a su vez la retroalimenta dada la importancia que ha adquirido. Dentro del marco permitido por dicha *episteme* se desarrollan ciertos *paradigmas* como formas más explícitas y conscientes de mirar y tratar de dar explicación a los problemas que se crean o plantean. La ciencia se construye desde y a través de paradigmas. Pero también esos paradigmas disponen de una génesis y evolución (que deben ser estudiadas) hasta el momento de su *cajanegrización*, que es el momento en que sus postulados se dan por buenos y pasan a no ser cuestionados. En este momento podemos decir que pasan a formar parte de lo que denominaré *infraestructura* que no es otra cosa que todo

² Siglas correspondientes a Sociology of Scientific Knowledge (Sociología del Conocimiento Científico), Social Construction Of Technology (Construcción Social de la Tecnología) y Actor-Network Theory (Teoría del Actor-Red) respectivamente

ese conjunto de paradigmas, hechos, *artefactos, instrumentos, prácticas, formas de organización*, etc. que han sido cajaneagrizados de manera que no se problematizan porque, o bien se desconoce su funcionamiento o simplemente se asumen como correctos. Cuando se desata una controversia en torno a un paradigma, quienes lo cuestionan, comienzan también a abrir algunas de las demás cajas negras, evidenciando lo que hasta ese momento quedaba oculto.

2.1. Episteme

El concepto de episteme que voy a utilizar está tomado de los desarrollos de Michel Foucault. Me interesa este concepto ya que considero que incluye algunas de las cuestiones que desde la antropología vienen siendo estudiadas desde hace mucho tiempo aunque debo señalar que he elegido este concepto y no otros tal vez más cercanos a la antropología como *cosmología* o *cosmovisión* por un motivo creo que obvio: pueden llevar a confusión dado que el análisis de la controversia se centra en la ciencia cosmológica, autodenominada *cosmología*.

Para este autor, la episteme es un marco referencial en el que se pueden desarrollar los conocimientos y que no permite cualquier configuración de saber o de prácticas ya que ciertas combinaciones son automáticamente descartadas por lo absurdo que aparentan. El esfuerzo de Foucault (1968, p.7) es tratar de

reencontrar aquello a partir de lo cual han sido posibles conocimientos y teorías; según cuál espacio de orden se ha constituido el saber; sobre el fondo de qué a priori histórico y en qué elemento de positividad han podido aparecer las ideas, constituirse las ciencias, reflexionarse las experiencias en las filosofías, formarse las racionalidades para anularse y desvanecerse quizá pronto. No se tratará de conocimientos descritos en su progreso hacia una objetividad en la que, al fin, puede reconocerse nuestra ciencia actual; lo que se intentará sacar a luz es el campo epistemológico, la episteme en la que los conocimientos, considerados fuera de cualquier criterio que se refiera a su valor racional o a sus formas objetivas, hunden su positividad y "manifiestan así una historia que no es la de su perfección creciente, sino la de sus condiciones de posibilidad; en este texto lo que debe aparecer son, dentro del espacio del saber, las configuraciones que han dado lugar a las diversas formas del conocimiento empírico.

Así, para Foucault (1968, pág. 166), es posible que los procesos humanos

se racionalicen, se desarrollen, se mantengan o desaparezcan según formas propias; siempre estarán fundados sobre un cierto saber: saber oscuro que no se manifiesta por sí mismo en un discurso, sino cuyas necesidades son idénticamente iguales que

las de las teorías abstractas o las especulaciones sin relación aparente con la realidad. En una cultura y en un momento dados, sólo hay siempre una episteme, que define las condiciones de posibilidad de todo saber, sea que se manifieste en una teoría o que quede silenciosamente investida en una práctica.

El proyecto de la modernidad eurooccidental dicta una separación entre naturaleza y cultura, pieza clave de las ciencias "naturales" y su legitimación desde una mirada realista. Podríamos incluso hablar de un proceso de naturalización como forma específica de objetivación, consistente en dotar a ciertas formas de pensamiento o prácticas sociales el mismo tratamiento que les damos a las categorías naturales como en occidente hacemos con la naturaleza³, invisibilizando los procesos sociales y sus efectos, lo cual hace que, desde nuestro punto de vista aún tengan más legitimidad en cuanto a su componente necesario, impensable de otra manera y que se corresponderían con un proceso de cajanegrización, que trataré más adelante.

Esta dicotomía que arrastramos en occidente en la propia forma de concebir naturaleza y cultura como entidades diferentes y diferenciadas, para Descola (2012, p.23) "es el fundamento clave de la epistemología modernista" no solo una categoría analítica más⁴. De este modo, trascender ese dualismo "abre un paisaje intelectual completamente diferente, un paisaje en el que los estados y las sustancias son sustituidos por procesos y relaciones"⁵.

Y más específicamente con el tema que me ocupa, Solís y Sellés (2015, p.13) afirman que la dificultad reside sobre todo en el carácter cambiante de la propia ciencia, a la que denominan "un esfuerzo por comprender y controlar el mundo" pero, además, la propia ciencia "ha cambiado radicalmente de carácter como actividad humana y como institución social". De este modo, "la concepción misma de la ciencia, y no sólo sus teorías, tiene una historia; la ciencia es una invención humana y no dejará de transformarse mientras

³ Ramírez Goicoechea (2011), Ramírez Goicoechea (2013), Descola (2012), Viveiros de Castro (2010), entre otros.

⁴ Latour (2007, p.138-139) defiende la capacidad de la antropología de estudiar las ciencias, no solo las etnociencias ya que la separación de naturaleza y cultura no es tal, pero se plasma en ciencias naturales y sociales, antropología incluida. De esta última afirma que permanece asimétrica y debe ser simetrizada ya que este principio "restablece la continuidad, la historicidad y, digámoslo, la justicia (...) No existe mito más puro que la idea de todo mito". Así, propone borrar las separaciones entre ciencias "sancionables" y "caducas" así como "las divisiones artificiales entre las sociologías del conocimiento, de la creencia y de las ciencias" (p.140)

⁵ Dentro de esos procesos y relaciones, Palsson (2001:95-96) distingue tres tipos de paradigmas con respecto a las relaciones humano-ambientales: orientalismo, paternalismo y comunalismo. Sólo haré notar aquí que nuestra concepción orientalista modernista está basada principalmente en "la conjetura del dominio humano, la superficie de contacto entre naturaleza y sociedad y la distinción entre legos y expertos y es, junto con el paternalismo "herederos intelectuales del Renacimiento, la Ilustración y la temprana ciencia positivista (desarrollada, entre otros, por Descartes y Brands Bacon), todos los cuales instituyeron una serie de dualismos decisivos".

no se nos agote la imaginación creadora”.

En este sentido, Lisón Tolosana (2007, p.607) señala que “en la explicación científicamente científica sólo una opción es en principio posible: su aceptación vale para todos los tiempos, espacios y culturas”. Sin embargo, estas explicaciones necesitan de una interpretación de su sentido, interpretación que “puede ser impugnada por teorías rivales que a su vez pueden ser correctas, aceptables simultáneamente o falsas –lo veremos en los modelos de universos-. Siendo esta explicación compleja y flexible y difumina de algún modo los órdenes de pensamiento dicotómicos entre verdadero/falso, objetivo/subjetivo porque esos límites son vagos y fluidos. Lo que hay de realidad y lo que aportamos no son en realidad separables.

Muy en esta línea, Rioja (1992, p.258) afirma que ciencia y epistemología están estrechamente relacionadas de manera que sus respectivos resultados no dejan de influirse mutuamente”. Además, partiendo de las novedades en física de partículas elementales y teoría cuántica, la autora reflexiona en una doble vertiente: por un lado, con respecto a la posibilidad de poder seguir hablando de “realidad” física independiente de los sujetos y de sus operaciones y por el otro lado, en relación al modo de preservar la “objetividad” en la descripción de una naturaleza sometida a interrogación mediante procedimientos físicos de observación y medida. La autora hace evidente que el científico, además de espectador, es igualmente autor, que toda ciencia es obra humana y, como tal, siempre queda sobre ella la impronta humana. Sin embargo, esto no significa subjetivizar el conocimiento sino “humanizar en cierto modo los criterios de objetividad” ya que no hay una ciencia del objeto que pueda desentenderse del sujeto. Y lo interesante de los avances en la física cuántica es que ponen sobre la mesa esta, hasta ahora, “reflexión especulativa” desde un planteamiento de “evidencia experimental”

Conforme avanza en ciertas lecturas me doy cuenta que en el ámbito científico que nos ocupa, o por lo menos en su ámbito teórico, el lenguaje matemático (Alemañ Berenguer, 2011) abre o cierra puertas de posibilidades, de alguna manera “crea” -y también destruye- los propios objetos de investigación. Así, nos encontramos con largas y costosas búsquedas de reacciones, elementos, etc. que han sido “predichas” mediante la teoría (Hawking y Mlodinow, 2015) y, a la inversa, teorías que han sido poco menos que despreciadas debido a que su desarrollo matemático no concuerda con el marco aceptado académicamente o paradigma del momento, como veremos en nuestra controversia.

Esto me resulta muy sorprendente ya que parece que, en otros ámbitos como en la física de partículas y a través de desarrollos como la mecánica cuántica, se ha tenido

que abandonar una visión dualista (Rioja, 1992, Román, 2004) para integrar otro tipo de paradigmas de tipo probabilístico, estocástico o incluso de sistemas “extraños”. En nuestro ámbito de estudio existen numerosas incursiones en cuanto a planteamientos en torno a sistemas estocásticos como puede ser la gravedad, las ondas gravitacionales o incluso el modelo cosmológico global (Moffat, 2017, Coward, Burman y Blair, 2018, Moncy V., Sivakumar y K Babu, 2003)

También existe una “lógica difusa” como ejemplo de lo borroso de los límites entre categorías o, si se prefiere, lo complicado que se nos hace en numerosas ocasiones decidir a qué tipo de categoría corresponde cierto objeto, teoría, ente, estado de la materia, o incluso ser vivo ⁶ En este sentido podríamos hablar de clasificaciones politéticas (Ramírez Goicoechea, 2011, p.150-151). También dentro de nuestro ámbito de estudio nos encontramos con este tipo de problemas como son los halos galácticos o la propia propia definición de galaxia que, aunque en este trabajo constantemente hablemos de ellas como objetos estudiables y, de hecho, estudiados, hay que decir que también existe debate en torno a lo difuso e incluso “extraño” de una galaxia. (Kroupa, 2012, p. 6-7)

“Sistemas extraños” son aquellos intrínsecamente inestables, con un orden volátil, no representables mediante un objeto geométrico, sin dimensión matemática integrable y con estado de criticalidad casi permanente (Ramírez Goicoechea, 2013:145) que parece no encajar muy bien con los modelos culturales occidentales. Y lo mismo sucede con una “Teoría del caos”, que viene de Poincaré, quien pensó en un sistema caótico cuyo comportamiento dependiera sensiblemente de sus condiciones iniciales y de sus posibles variaciones por ínfimas que pudieran parecer pero que pudieran provocar cambios drásticos en la trayectoria de un sistema. (Ramírez Goicoechea, 2013, p.146) ⁷

Watson-Verran y Turnbull en su artículo “Ciencia y otros saberes indígenas” (“Science and other indigenous knowledge systems”, Jasanoff y col., 1995, p.115-139) resaltan

⁶ Es magnífico el ejemplo de la controversia en torno a la categorización taxonómica filogenética del oso panda para la biología

⁷ A simple vista puede parecer que todo esto no tiene mucha relación con el objeto de estudio pero en los modelos científicos contemporáneos este tipo de conceptos se encuentran en muy buena forma. Sin extenderme en ejemplificaciones, solo referiré a Moffat (2017), quien, desde el departamento de física de la universidad de Toronto propone una “gravedad estocástica y cosmología crítica autoorganizada” y en cuyo paper

Se describe una teoría estocástica de la gravedad en la que el tensor de medición es una variable aleatoria tal que la variedad espacio-tiempo es un sistema físico que fluctúa en una escala de longitud determinada. Se describe un formalismo general para calcular las densidades de probabilidad de los fenómenos gravitacionales en una generalización de la Relatividad General (RG), que se reduce a RG clásico cuando la magnitud de las fluctuaciones métricas es insignificante. Las singularidades en colapso gravitacional y en la cosmología del Big Bang tienen una probabilidad cero de ocurrir. Se describe un modelo de universo crítico autoorganizado que es independiente de sus condiciones iniciales. (p.1 - traducción propia)

que la "racionalidad" y "cientificidad" occidental han sido los marcadores para evaluar los conocimientos de otras culturas, de manera que en todas las ocasiones han sido catalogados como cerrados, pragmáticos, utilitarios, dependientes del contexto, etc. Y ello implica que no tienen la misma autoridad y credibilidad que el conocimiento científico eurooccidental ya que presuntamente este está desligado de las condiciones locales de su producción. Sin embargo,

Aunque los sistemas de conocimiento pueden diferir en sus epistemologías, metodologías, lógicas, estructuras cognitivas o contextos socioeconómicos, una característica que comparten todos es la localidad. Las tecnociencias contemporáneas occidentales, en lugar de tomarse como una definición del conocimiento, la racionalidad o la objetividad, deberían tratarse como variedades de sistemas de conocimiento. (p.116 - Traducción propia)

Y es que, a pesar de todo lo que ya he señalado, la ciencia occidental se presenta a sí misma como objetiva, carente de ideología y con un punto de vista "neutral", incluso "inocente" en el sentido de carente de responsabilidad, algo que D. Haraway (1988) denomina "truco de Dios" ("God trick") y se trata de una "totalización" en las ideologías de la objetividad. Base aquí señalar que los conocimientos y los métodos, las visiones sobre el mundo y sus implicaciones están irremediabilmente *situados* ⁸.

Estoy abogando por políticas y epistemologías de ubicación, posicionamiento y ubicación, donde la parcialidad y no la universalidad es la condición de ser escuchado para hacer afirmaciones de conocimiento racional.(...) Estoy abogando por la visión desde un cuerpo, siempre un cuerpo complejo, contradictorio, estructurador y estructurado, frente a la vista desde arriba, desde la nada, desde la simplicidad. Solo el "truco de dios" está prohibido. (p.589- Traducción propia)

2.2. Paradigmas

De esa "cosmovisión" en ocasiones implícita, de distancias entre conceptos y relaciones entre ellos considero que se deriva una materialización muy relacionada con la idea de episteme, como es el concepto de Kuhn (2004, p.33-34) de *paradigma*. En este trabajo, le daré el sentido de marco más concreto que el epistémico y que ya circunscribiré al ámbito científico: como una realización científica pasada y que una "comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica

⁸ Y, sin embargo, se continúan haciendo intentos de "Teorías del Todo" (ToE, Theory of Everithing) como la de supersimetría o SUSY (SUper SYmmetry) que condensen absolutamente todo "lo que conocemos" en una o en un puñado de ecuaciones (Barrow, 2013, Calcagni, 2017, entre otros.). Parece que la lógica eurooccidental de categorizar, de uniformizar y, por supuesto, de matematizar, es un marco en la que la ciencia contemporánea se siente cómoda y posee ambiciones de, tal vez algún día "saberlo todo" desde un "punto de vista objetivo" y obedece a la episteme brevemente esbozada.

posterior." Estos paradigmas tienen dos características, la primera es que sus logros son tales que atraen a un grupo importante y duradero de partidarios y la segunda es que son lo suficientemente incompletas como para que dejar muchos problemas por resolver a los científicos que se acercan al paradigma. Además, al compartir paradigmas, los investigadores "están sujetos a las mismas reglas y normas para la práctica científica."

Sin embargo, "la existencia de un paradigma ni siquiera debe implicar la existencia de algún conjunto completo de reglas" (p.82) o que, por el contrario, "los paradigmas pueden ser anteriores, más inflexibles y completos que cualquier conjunto de reglas para la investigación que pudiera abstraerse inequívocamente de ellos" (p.84) ya que dichos paradigmas son anteriores al conjunto de reglas y supuestos compartidos.

A pesar de sus necesarias y múltiples inconsistencias, que son minimizadas, los paradigmas se refuerzan a través de investigaciones coincidentes. A esto lo denomina la "ciencia normal" y es "la actividad en que, inevitablemente, la mayoría de los científicos consumen casi todo su tiempo, se predica suponiendo que la comunidad científica sabe cómo es el mundo."(p.26).

Sin embargo, se producen ocasionalmente episodios extraordinarios que denomina "revoluciones científicas" y que no son otra cosa que rupturas de los paradigmas con los que trabaja la "ciencia normal". Esta ruptura no tiene que ver con la acumulación de datos a favor de la crítica al paradigma en crisis ya que los problemas que puede resolver dicho paradigma y el nuevo que trata de reemplazarlo son similares pero con una diferencia decisiva en la *manera* de resolverlos. Lo que sucede

Es más bien una reconstrucción del campo, a partir de nuevos fundamentos, reconstrucción que cambia algunas de las generalizaciones teóricas más elementales del campo, así como también muchos de los métodos y aplicaciones del paradigma.

Una vez roto el paradigma (generalmente después de la acumulación insostenible de anomalías del mismo que han sido minimizadas o silenciadas), "los científicos ven cosas nuevas y diferentes al mirar con instrumentos conocidos y en lugares en los que ya habían buscado" (p.176) porque "el científico que dispone de un nuevo paradigma ve de manera diferente a como lo hacía antes" (p.182). Al ver de manera diferente y ver cosas diferentes, se producen mundos inconmensurables porque "quienes proponen los paradigmas en competencia practican sus profesiones en mundos diferentes."(p.233)

Y es que, según parece, "es necesario algo similar a un paradigma como requisito previo a la percepción misma" (p. 179). Cuando cambia el paradigma lo que sucede no

es que cambie la *interpretación* que hace el científico de unas observaciones que presuntamente son las mismas debido a lo "objetivo" del medio natural y del aparato perceptual ya que

Ningún sentido ordinario del término "interpretación" se ajusta a esos chispazos de la intuición por medio de los que nace un nuevo paradigma. Aunque esas intuiciones dependen de la experiencia, tanto anómala como congruente, obtenida con el antiguo paradigma, no se encadenan lógicamente ni gradualmente a conceptos particulares de esa experiencia como sucedería si se tratara de interpretaciones. En lugar de ello, reúnen grandes porciones de esa experiencia y las transforman para incluirlas en el caudal muy diferente de experiencia que será más tarde, de manera gradual, insertado al nuevo paradigma, y no al antiguo (p.193)

Este autor duda de que la experiencia sensorial sea fija y neutra y de que las teorías sean simplemente interpretaciones de datos dados y así

El punto de vista epistemológico que con mucha frecuencia dirigió la filosofía occidental durante tres siglos, sugiere un sí inequívoco e inmediato. (...) Sin embargo, ya no funciona efectivamente y los intentos para que lo haga, mediante la introducción de un lenguaje neutro para las observaciones, me parecen por ahora carentes de perspectivas. Las operaciones y mediciones que realiza un científico en el laboratorio no son "lo dado" por la experiencia, sino más bien "lo reunido con dificultad (...) La ciencia no se ocupa de todas las manipulaciones posibles de laboratorio. En lugar de ello, selecciona las pertinentes para la yuxtaposición de un paradigma con la experiencia inmediata que parcialmente ha determinado el paradigma. Como resultado, los científicos con paradigmas diferentes se ocupan de diferentes manipulaciones concretas de laboratorio." (p.197-198)

La astronomía ha dejado magníficos ejemplos de este tipo de desarrollos (como el que el propio Kuhn (1996 y 2004) explica con el giro copernicano) y ejemplifica perfectamente los largos procesos en los que se ve envuelto un paradigma a la hora de su proto-desarrollo, auge, pugna con el anterior paradigma imperante y sustitución paulatina del mismo. Como no podía ser menos, este aspecto estará muy presente en la controversia que analizaré más adelante.

Esta pugna de paradigmas es lo que interpreto de manera amplia en el desarrollo de Latour (1992) a la hora de plantear la visión de la ciencia como un Jano Bifronte, con la ciencia elaborada representada con la edad y experiencia y la ciencia en elaboración con la juventud y osadía y los aforismos asociados a cada una de ellas. Efectivamente, en el análisis de esta controversia veremos que el paradigma imperante establecido toma el papel de la ciencia elaborada y el paradigma crítico emergente toma el papel de la ciencia en proceso de elaboración, con toda la carga crítica, apertura de cajas negras y reclutamiento de aliados (entre otras cuestiones) que Latour le atribuye.

El paradigma actual de la astronomía y astrofísica es algo que debe ser estudiado contextualizado en su desarrollo histórico y cultural. No en vano, como señala el propio Kuhn (2004, p.143) “sobre todo, en los periodos de crisis reconocida, cuando los científicos se vuelven hacia el análisis filosófico como instrumento para resolver los enigmas de su campo”

Es por todas estas características hasta ahora pormenorizadas por las que me decanto por el concepto de paradigma. Sin embargo, quiero hacer notar que en el desarrollo de la controversia se utiliza con asiduidad este concepto. En un principio pensé buscar un sustituto para el mismo⁹ pero finalmente decidí que mantenerlo tiene sus ventajas. Esto es debido a que hay agentes en la controversia que lo utilizan en muchas ocasiones de manera despectiva, en un intento de descalificar el modelo imperante haciendo entender que no se trata de que tenga un mejor andamiaje teórico-experimental, sino que simplemente se trata de “lo establecido”¹⁰ Trataré de que quede claro cuándo es usado en un sentido completamente kuhniano por mi parte y cuándo se utiliza de este modo por parte de los agentes.

2.3. Infraestructuras

Slota y Bowker en su artículo “How infrastructures matter”(Cómo importan las infraestructuras) (Felt y col., 2017, p. 529-554) definen una infraestructura de la siguiente manera:

La infraestructura, en una formulación simple (aunque un tanto imperfecta), se refiere al trabajo previo (ya sea la construcción, la organización, el acuerdo sobre normas, etc.) que respalde y permita la actividad en la que realmente nos dedicamos. Más particularmente, la infraestructura se remite a los sistemas, tecnologías, organizaciones y artefactos construidos que no necesitan ser reconsiderados al comienzo de una nueva empresa. (p.529 - traducción propia)

Así, la infraestructura puede ser muy variada según del ámbito del que estemos hablando, podría estar compuesta por muchos recursos materiales o inmateriales o, por el contrario, ser prácticamente inexistente. Pero sea como sea, lo esencial aquí es que se trata de todos los elementos que “no necesitan ser reconsiderados”. Y al aplicarse esa condición, lo que sucede es que

⁹ Al contrario que para *episteme*, tampoco fui capaz de encontrar un concepto adecuado.

¹⁰ A pesar de que alguno de los agentes involucrados cita al propio mismísimo Kuhn.

La infraestructura no es un fondo neutral que permite un conjunto infinito de actividades. La infraestructura posee valores, permite ciertos tipos de relaciones humanas y no humanas al tiempo que bloquea y da forma a la forma en que pensamos sobre el mundo. (p.530 - traducción propia)

De hecho, para estos autores, una infraestructura no se trata de una "cosa" sino de un conjunto heterogéneo de "cosas", un *dispositif technique* en palabras de Foucault, que solo pueden analizarse en clave relacional ya que "no hay un sistema que sea inherentemente infraestructural; solo hay observadas relaciones infraestructurales". Y, además, no lo es permanentemente y para cualquier fin sino que un sistema, tecnología u organización es infraestructural a/para una actividad particular en un momento particular. (p.531 - traducción propia)

Creo que muy relacionado con este concepto de infraestructura tal y como ha quedado desarrollado está el de Deleuze y Guattari de *assemblage* que Watson-Verran y Turnbull enfatizan en su artículo "Science and other indigenous knowledge systems" (Ciencia y otros sistemas de conocimiento indígena) (Jasanoff y col., 1995, p.115-139) y que definen de la siguiente manera:

es como una episteme con tecnologías añadidas, pero que connota la contingencia ad hoc de un collage en su capacidad de abarcar una amplia variedad de componentes incompatibles. También tiene la virtud de connotar prácticas activas y en evolución en lugar de una estructura pasiva y estática. Implica una robustez construida sin un marco teórico totalmente interpretado y acordado mientras que captura la naturaleza inherentemente espacial de las prácticas y sus relaciones. Los *assemblages* constituyen conexiones y generan equivalencias entre localidades en los sistemas de conocimiento. (...) Los ensamblajes también son prácticas de poder. Comprenderlos retoma las nociones de poder como estratégicas e involucradas con la creación de significado. (p. 117 - traducción propia)

Efectivamente, Bourdieu (1994) nos recuerda que el campo científico es el lugar de una lucha competitiva por el monopolio de la autoridad científica (prestigio, reconocimiento, celebridad, etc.) definida como capacidad técnica y como poder social (capacidad de hablar e intervenir legítimamente). Esta imagen no solo rompe con la imagen pacífica de la "comunidad científica" como una especie de "reino de los fines" sino que refuerza la idea de que "el funcionamiento mismo del campo científico produce y supone una forma de intereses (las prácticas científicas no aparecen como "desinteresadas" más que por referencia a intereses diferentes, producidos y exigidos por otros campos)". (p.132)

De manera que, y como veremos nuevamente en el caso de estudio, en la búsqueda científica hallamos siempre dos caras: el interés por la materia en cuestión y el interés por la adquisición de dicha autoridad:

Un análisis que tratara de aislar una dimensión puramente "política" en los conflictos por la dominación en el campo científico sería tan radicalmente falso como su contraparte, más frecuente, el análisis que no considera sino las determinaciones "puras" y puramente intelectuales de los conflictos científicos. (p.133)

Y es que, para este autor, "lo reconocido como importante e interesante es lo que tiene opciones de ser reconocido como importante e interesante para otros y, por lo tanto, de hacer aparecer al que lo produce como importante e interesante a los ojos de los otros". Y por esa misma razón es por lo que, por un lado, en situaciones de "ciencia normal" planteada por Kuhn, el grueso de los investigadores se concentran en cuestiones centradas en el propio paradigma para, cuando dichos paradigmas se "agotan" y la situación se vuelve insostenible, se produce una explosión de nuevos estudios en torno a la teoría en pugna. Este movimiento se explicaría precisamente por la inversión (consciente o inconsciente) en un objetivo que provea mayores probabilidades de reportar beneficios. Y un descubrimiento relativo a lo que en el momento es considerado como "importante" aporta un beneficio simbólico mayor.

El reconocimiento socialmente señalado y garantizado (...) es función del *valor distintivo* de sus productos y de la *originalidad*(...) colectivamente reconocidos a la contribución que él hace a los recursos científicos ya acumulados. (p.139)

Y para ello es muy importante la *visibilidad*, el *hacerse un nombre* que implica, entre otras cuestiones, ser el primero en publicar un artículo en torno a una materia concreta y aparecer bien posicionado en los artículos firmados por varios autores. Pero también significa, como veremos "ser original", es decir, que el trabajo propio sea derivado del de otro posee menos valor que si el trabajo es "original" ¹¹.

La estructura del campo científico se define en cada momento por el estado de las relaciones de fuerza entre los protagonistas de la lucha, agentes o instituciones, es decir, por la estructura de la distribución del capital específico, resultado de las luchas anteriores que se encuentran objetivadas en las instituciones y las disposiciones, y que dirige las estrategias y las posibilidades objetivas de los diferentes agentes o instituciones en las luchas presentes.(P.141)

Pero en esta pugna también podemos incluir a las instituciones que lucha entre sí por capitalizar teorías, descubrimientos, patentes, y otros productos del trabajo científico que permiten el acceso a mayores capitales científicos de prestigio y acceso a recursos económicos y autoridad en la materia tratada.

las diferentes posiciones en el campo científico están asociadas a representaciones de la ciencia, estrategias ideológicas disfrazadas de tomas de posición epistemológicas

¹¹ Aunque, como hemos visto, las relaciones infraestructurales hacen que esto sea poco menos que imposible en la práctica. Nadie comienza de cero una investigación.

por las cuales los ocupantes de una posición determinada tienden a justificar su propia posición y las estrategias que ponen en marcha para mantenerla o mejorarla, al tiempo que desacreditan a los defensores de la posición opuesta y sus estrategias.

Así, lejos de tratarse de una "ingerencia de lo no científico en lo puramente científico", y al igual que Shapin y Schaffer (2005, p.44) en su caso de estudio, también me gustaría llegar a poder "exhibir el método científico como forma cristalizada de organización social y como medio de regular la interacción social dentro de la comunidad científica." Aquí llegamos a otro concepto: el de la *comunidad*, científica, en este caso que, lejos de ser coyuntural, creo que tiene enorme importancia. De hecho, veremos que hay pugna y cuestionamiento por la pertenencia o no a ciertas "comunidades".

Este concepto tiene una larga trayectoria de estudios en la tradición antropológica, pero aquí solo haré una breve exposición tratando de resaltar los aspectos más interesantes para el estudio de esta comunidad en particular, principalmente desde una aproximación culturalista, que destaque los aspectos psicosociológicos.

Tal y como la define Cohen (1985), la comunidad es una entidad a la que uno pertenece, más amplia que el parentesco ("kinship") pero más cercana de lo que llamamos "sociedad" y no solo se caracteriza por las similitudes que incluye, sino que implícitamente lleva las inscritas diferencias al mismo tiempo, sus límites ("boundaries") externos por un lado y las propias diferencias internas por otro. Para este autor, hay que empezar a pensar la comunidad no como hasta ahora, mediante un significado léxico, entendemos reificante y externo, sino como un "uso" maleable que le dan sus miembros. En este sentido, para este autor, las comunidades sociales son construcciones simbólicas, es decir, que están basadas en símbolos compartidos, a pesar de que el significado de dicho símbolo suele tener sentidos únicos para cada uno de los miembros de la comunidad.

A partir de ahí nacerían los mencionados límites de pertenencia y las diferencias internas. Estos límites, como hemos mencionado, serían mentales, algunos de ellos pueden estar refrendados por el ordenamiento legal y muchos otros no pero en ningún caso se trata de elementos objetivos ni objetivables, sino que las comunidades mismas manejan, modifican los significados de los símbolos como forma de reajuste interna y externa. Lejos de tratarse de algo totalizante y estable, Dyck en Amit (2002, p.107) afirma que 'las relaciones de comunidad pueden ser relativamente estrechas en términos temporales y espaciales y decididamente parciales o situacionales en términos de contenido y, aun así, ser altamente destacadas ("salient") como significados de afiliación".

Dawson, también en la compilación de Amit (2002, p.29) cita a James Brown, quien

afirma que las diferencias entre aquellos que son incorporados dentro de una comunidad son a menudo silenciadas u oscurecidas, mientras que las diferencias entre los de dentro (“insiders”) y los de fuera (“outsiders”) son fuertemente afirmadas.

En nuestro caso de estudio, como veremos, los agentes de esta controversia entran de lleno en la deconstrucción y reconstrucción de los límites de las comunidades y las pertenencias a las mismas con juegos de inclusión/exclusión de los diferentes agentes.

De nuevo Slota y Bowker (Felt y col., 2017, p. 529-554), citando a Star y Ruhleder, también hacen referencia a esta propiedad en el caso de las infraestructuras y unen la pertenencia a la comunidad con el aprendizaje e incorporación de las prácticas asociadas a la misma: “La infraestructura se aprende como parte de la afiliación en una comunidad determinada y se vincula con las convenciones de práctica en la misma y encarna un conjunto de estándares.” (p.537)

Efectivamente, Lave y Wenger (1991) dan cuenta sobre las formas en las que aprendemos y concluyen que el viejo paradigma de aprendizaje como adquisición de conocimientos individual, desanclado de lo relacional y vivencial queda superado por un enfoque colectivo, procesual y participativo, mucho más difuso, lleno de significados múltiples e interconectados tanto con otros significados como con los propios actores involucrados en dicho proceso. El aprendizaje, de este modo, no es independiente de la forma, del lugar y del grupo en que se adquiere. Además, según estos autores, no se puede desligar la adquisición de conocimientos y símbolos compartidos del desarrollo de la identidad, que se irá construyendo, desarrollando y significando en el seno de estas interacciones que, a su vez, legitiman las prácticas individuales constituyendo una “comunidad de práctica”.

Y es que es en esas comunidades de práctica, de relaciones infraestructurales donde podemos contextualizar más certeramente la observación de Kuhn (2004, p.84) cuando afirma que

Los científicos trabajan a partir de modelos adquiridos por medio de la educación y de la exposición subsiguiente a la literatura, con frecuencia sin conocer del todo o sin necesitar conocer qué características les han dado a esos modelos su status de paradigmas de la comunidad.

Efectivamente, los paradigmas son fundamentales en la infraestructura pero como hemos visto anteriormente, no lo son menos otros elementos materiales e inmateriales. Slota y Bowker en su artículo “How infrastructures matter” (Felt y col., 2017, p. 529-554), aunque esta cuestión también es apuntada por Latour (1992), dan cuenta de que

el trabajo de un compañero (o rival) puede considerarse como infraestructura para otro científico al utilizarlo no problemáticamente o dando por hecho que sus postulados, procedimientos, instrumentación o resultados son correctos. Es decir, cerrando una caja negra o *cajanegrizando* un hecho o artefacto.

2.4. Cajanegrización

Latour (1992, p.2) hace un símil con la ciencia cibernética en la que se representa con una cajita negra en un diagrama "cuando un artefacto o conjunto de órdenes es demasiado complejo" y no se necesita saber más que sus entradas y sus salidas sin importar nada lo controvertido de su historia, su complejidad interna o la red que la sostiene. Cuando una caja se cierra (se acaba la discusión en torno a ella) y se vuelve negra (no se problematiza sobre lo que ocurre dentro) se ha convertido en un "hecho". (p.40)

Además, como recuerda Sismondo (2010, p.120)

Una vez que un hecho o artefacto se ha convertido en una caja negra, adquiere un aire de inevitabilidad. Parece que es la mejor o la única solución posible para su conjunto de problemas. Sin embargo, esto tiende a oscurecer su historia detrás de una historia teleológica. (Traducción propia)

En este sentido, en el incipiente desarrollo de la controversia que en este trabajo trato de seguir, los "objetos calientes" (Latour, 1992, p.21) no son exactamente (o no son únicamente) la teoría cosmológica de la ciencia en elaboración de los detractores de la materia oscura sino todas las "cajas negras" que se van abriendo¹².

Para Latour (1992), la elaboración de hechos y artefactos es un proceso *colectivo* ya que el destino de un enunciado o acto depende de lo que los demás hagan con él posteriormente (p.29):

Un enunciado puede acercarse más a ser un hecho o un artefacto, en función de la forma en que se inserte en otros enunciados. *Por sí mismo, un enunciado dado no es ni un hecho ni una ficción; son otros enunciados posteriores los que lo convierten en tal.* (p.25)

Por ello es tan importante la literatura y la forma de exponer los enunciados, referirse a textos anteriores como método de ganar credibilidad (y de zanjar posibles discrepancias), evitar ser malinterpretado, adelantarse a las posibles objeciones y críticas o peor

¹² Y en un futuro debería plantearme las que permanecen cerradas por alguna razón.

aún: ser ignorado, etc. En resumen, se trata de *ganar aliados*, de sumar voces y opiniones que aumenten la credibilidad ya que esas voces serán las que, como ya se ha indicado, determinarán la suerte del enunciado. Ellos son los que harán que los enunciados sean *válidos y verdaderos*. Y es precisamente en este momento cuando son *cajanegrizados*.

También quiero resaltar aquí el concepto de *laboratorio*, además del lugar donde trabaja el científico (p.63), como un lugar "que reúne uno o varios instrumentos" (p.69), siendo un *instrumento* (o *mecanismo de inscripción*) una "estructura, sea cual sea su tamaño, naturaleza o coste, que proporcione una exposición visual de cualquier tipo en un texto científico" (p.67). Latour recalca (p.68) que "puede ser un componente físico, como un telescopio pero también puede estar compuesto de software".¹³

Si bien cuando Latour planteaba esta cuestión la situación era bien diferente, hoy en día, el software se ha convertido en una de las mayores y más pesadas *cajas negras* en el ámbito que nos ocupa. Esto es debido a que las simulaciones computerizadas se han convertido en uno de los principales instrumentos utilizados por la cosmología para el desarrollo de su actividad de laboratorio y la creación y verificación de sus *modelos*¹⁴. En el ámbito de la cosmología, este tipo de instrumentos son centrales en el trabajo de laboratorio y no debemos perder de vista que "de manera consciente o no, la decisión de emplear determinado aparato y de usarlo de un modo particular lleva consigo una suposición de que sólo se presentarán ciertos tipos de circunstancias" (Kuhn, 2004, p.103)

Para Sismondo (2018, p.247)

Los modelos matemáticos y sus primas, las simulaciones por computadora, ocupan un espacio incómodo entre teoría y experimento, entre lo abstracto y lo concreto, y a menudo entre las presiones de la ciencia pura y las necesidades de la acción pragmática. (...) Considerando que las teorías, como afirmaciones locales, puede ser verdaderas o falsas, los modelos y las simulaciones se suelen ver en términos más pragmáticos, son más o menos útiles, en lugar de más o menos ciertos. Los modelos científicos y las simulaciones reciben el estatus de herramientas, así como representaciones; son objetos, así como ideas. Se cruzan fácilmente categorías, como "teoría" y "experimento", los límites de los cuales están bien establecidos. Y el modelado y la simulación incomodan a la ciencia tanto social como epistémicamente, debido a los límites que cruzan. (Traducción propia)

Efectivamente, una vez trascendida su conceptualización como "herramienta" y ya

¹³No me extenderé mucho más aquí, pero desde la perspectiva que utilizo, como ya he desglosado en la sección sobre la *infraestructura*, considero teorías, modelos, artefactos, incluso fórmulas matemáticas como *cajanegrizadas*

¹⁴ Como veremos, los dos modelos en el centro de esta controversia son denominados así: *modelos*. Esto no es casualidad, ya que en este caso parece que los modelos matemáticos y a las modelaciones computerizadas son quienes generan el conjunto de lo que se denomina "universo".

en este difícil equilibrio entre "teoría" y "experimento", Winsberg (2009, p.838) en su artículo "Computer Simulation", señala que en torno a las simulaciones se suele plantear un dilema entre validación, como "proceso de asegurar que las ecuaciones del modelo que son la base para la simulación representan el sistema objetivo correctamente" y verificación, como "proceso de asegurar que la salida numérica de la simulación y las conclusiones extraídas de ellas sean lo suficientemente parecidas a las soluciones de las ecuaciones del modelo original si pudiéramos escribirlas."

Sin embargo, este dilema en realidad sería falso ya que la distinción que hacemos entre verificación y validación es demasiado simple:

Es cierto, por supuesto, que los simulacionistas hacen todo lo posible para mostrar que sus resultados son lo más cercanos posible a las soluciones reales de las ecuaciones que forman la base de sus modelos originales. El problema es que, en la práctica, los modelos con los que comienzan son tan complejos, y dependen tanto de ecuaciones no lineales, que los argumentos que pueden ofrecer para este tipo de conclusiones son increíblemente débiles. Cuando los modelos son suficientemente complejos y no lineales, rara vez es posible ofrecer argumentos matemáticos que muestren, con algún grado de fuerza, que se está logrando la verificación. Lo que los simulacionistas se ven obligados a hacer es centrarse, en cambio, en establecer que el efecto combinado de los modelos con los que comienzan y los métodos computacionales que emplean proporcionan resultados que son lo suficientemente confiables para los fines a los que se proponen ponerlos. (Traducción propia)

Ahora bien, cuando se utiliza un modelado y simulación por ordenador, pueden pasar dos cosas: la primera es que los resultados no se correspondan con los datos empíricos observacionales registrados. En ese caso,

Cuando un modelo computacional no puede dar cuenta de los datos reales, no sabemos si culpar al modelo subyacente o culpar a los supuestos de modelado utilizados para transformar el modelo subyacente en un algoritmo tratable computacionalmente. (...)

Pero también es cierto que en el caso de que los resultados de la simulación correspondan con los datos empíricos. En este caso

puede no ser porque el modelo subyacente sea ideal o porque el algoritmo en cuestión encuentre soluciones para ese modelo subyacente. Más bien podría ser debido a lo que los simulacionistas a veces llaman un "equilibrio de aproximaciones". Este es probablemente el caso cuando un modelo se adapta específicamente para contrarrestar lo que se conoce como limitaciones en los esquemas utilizados para transformar el modelo en un algoritmo. Cuando se logra el éxito en virtud de este tipo de ajuste por etapas, de prueba y error, es difícil siquiera saber qué significa decir que un modelo se verifica y valida por separado. (p.839 - traducción propia)

Así, como veremos más adelante, las simulaciones por ordenador se utilizan como *experimentos* y se validan o descartan modelos, a pesar de que

la cuestión central de la epistemología de la simulación se convierte en: "¿Qué garantiza que tomar una simulación por computadora sea una prueba severa de alguna hipótesis sobre el mundo natural? Es decir, ¿qué justifica nuestra conclusión de que es poco probable que la simulación arroje los resultados que de hecho dio, si la hipótesis de interés fuera falsa?"

Lo que en realidad se ha producido es un proceso de *cajanegrización*, que hace que algunas de las técnicas que se utilizan para construir los modelos de las simulaciones obtienen su reconocimiento ("credentials") de la misma manera que los procedimientos y métodos experimentales: "se desarrollan durante un período prolongado de tiempo y se vuelven profundamente vinculadas a la tradición. (...) las técnicas y conjuntos de suposiciones que usan los simulacionistas se vuelven "autovindicantes". O, en una expresión más matizada de Winsberg "llevan sus propias credenciales".

Como apunte final, creo necesario señalar que, incluso en el caso en el que la caja negra ha sido abierta y cuestionada, a la hora de utilizar lo que presuntamente se toman como "datos objetivos" (Es el caso de los partidarios de uno de los dos paradigmas) de las diferentes mediciones y observaciones tampoco podemos olvidar que, como recuerda muy necesariamente Knorr (2005, p.61)

Los resultados científicos, entre ellos los datos empíricos, han sido caracterizados como, primero y por sobre todo, resultados de un proceso de fabricación. Los procesos de fabricación involucran cadenas de decisiones y negociaciones mediante las cuales se generan sus resultados. Dicho de otra manera, necesitan que se haga una selección. Las selecciones, a su vez, sólo pueden hacerse sobre la base de previas selecciones: se basan en traducciones de otras selecciones.

Como digo, creo que conviene tener esto en mente ya que, como veremos, es uno de los pilares fundamentales de uno de los dos modelos y, sin embargo, también hay alguna crítica en este sentido.

Pero pasemos ya a ver los diferentes paradigmas en pugna.

Capítulo 3

Los modelos enfrentados

En este capítulo trataré de exponer sucintamente los dos modelos¹ expuestos en esta controversia. En primer lugar revisaré el modelo paradigmático actual en cosmología: el llamado modelo estándar (o Λ CDM) de universo inflacionario con Big Bang para más adelante, y tras una breve exposición del abanico de modelos alternativos vigentes hoy en día, trataré el modelo alternativo resultante de modificar ciertas fórmulas matemáticas aplicadas en física, también denominado MOND.

Antes de comenzar creo necesario introducir el concepto de cosmología científica ya que su definición puede variar considerablemente según las fuentes consultadas y pueden ser tan amplias como "El cielo y todo lo que hay en él constituyen el objeto de estudio de la astronomía" que podemos encontrar en Galadí-Enríquez y Gutiérrez (2001, p.31) o "La cosmología es la ciencia que estudia el universo como un todo" en Zorzano (2008a, p.2).

Como desgrana Falcón (2010, p.12)

Cosmología, del griego: (cosmos) orden y (logia) discurso; es el estudio a gran escala de la estructura y evolución del Universo en su totalidad. Por el contrario la cosmogonía, del griego [kosmogonía] o [kosmogenía], deriva de [kosmos] 'mundo' y la raíz [gégona], nacer o nacimiento; es una narración mítica que pretende dar respuesta al origen del universo y de la propia humanidad.

En muchas ocasiones se entremezclan los conceptos de astronomía, astrofísica y

¹ Entendidos aquí como un conjunto de supuestos ontológicos, epistémicos y teóricos (aunque veremos que también prácticos) que se contrastan con los datos producidos en las observaciones y otras técnicas de producción de datos, como simulaciones por ordenador, para decidir si "funciona", es decir: si las salidas de las formulaciones matemáticas y de otros artefactos implementados en base a dichos supuestos se corresponden con lo observado.

cosmología (incluso en ocasiones se añade la cosmología física como un subtipo de esta última), no queda muy claro su propia delimitación y se introducen en la propia definición componentes que se manejan actualmente, como podemos comprobar en Cepa (2007, p.11)

En efecto, la cosmología abarca multitud de campos muy distintos: desde la física de partículas y sus modelos de unificación hasta las observaciones de galaxias del universo local y de cúmulos globulares de nuestra Galaxia, todo ello en el marco de la relatividad general.

En cuanto al objetivo de esta ciencia, tomaré la sintética exposición proporcionada por National Research Council y col. (2001, p.29)

El objetivo fundamental de la astronomía y la astrofísica es comprender cómo se formó el universo y sus galaxias, estrellas y planetas constituyentes, cómo evolucionaron y cuál será su destino. (Traducción propia)

Como se puede apreciar, se difuminan los tradicionales límites entre cosmología y cosmogonía señalados por Falcón (2010)² En cualquier caso, es desde esta perspectiva desde la que se plantean los modelos en pugna en esta controversia.

3.1. El modelo Λ CDM

En cosmología moderna se da por bueno casi unánimemente el denominado modelo estándar, modelo de concordancia o, más técnicamente, modelo Λ CDM. Esta denominación viene dada por la constante cosmológica Λ (atribuída a la energía oscura - Dark Energy) y CDM o Cold Dark Matter (Materia Oscura Fría)

Este modelo integra varios elementos que hasta hace unas décadas eran fragmentos de un conjunto de observaciones, modelos, teorías y que han sido progresivamente integrados. Esto hace que haya mucha diferencia a la hora de presentar este modelo en los diferentes textos consultados ya que las formas de categorizar y jerarquizar estas diferentes piezas dan lugar a diferentes relatos sobre el modelo. En cualquier caso, me parece interesante la perspectiva que ofrece Zorzano (2008a), quien pone en el centro de esta teoría el Hot Big Bang, la "gran explosión caliente"³ que ocurrió hace 13.700 millones de

² También la RAE lo refleja definiendo cosmología en su primera acepción como "Parte de la astronomía que trata de las leyes generales, del origen y de la evolución del universo." y cosmogonía en su segunda acepción como "teoría científica que trata del origen y la evolución del universo."

³ También hay modelo alternativo con explosión fría, como veremos

años. Como bases teóricas se postula un marco basado en la Teoría General de la Relatividad de Einstein (RG), que proporciona la teoría del campo gravitatorio y el marco básico para los distintos modelos cosmológicos; el Principio Cosmológico, también introducido por Einstein, que supone la homogeneidad e isotropía del universo y el modelo de fluidos, que considerando a las galaxias como constituyentes básicos del universo las incluye en la teoría mediante una ecuación de fluido.

Como bases experimentales⁴ señala en primer lugar la Ley de Hubble, que establece la expansión del universo con una velocidad de recesión de las galaxias proporcional a su distancia respecto a nosotros. En segundo lugar, la Radiación del fondo cósmico de microondas (Cosmic Microwave Background, CMB), que fue descubierta en 1965 como una radiación muy isotrópica y que fue emitida cuando el Universo estaba lo suficientemente frío como para formar átomos neutros y que se pudieran desacoplar los fotones de la materia. Esto ocurrió aproximadamente unos 350.000 años después del Big Bang. La CMB contiene información sobre los primeros momentos del universo y da fundamento a la isotropía. Estas observaciones están ayudando a establecer el paradigma del Big Bang Inflacionario como modelo preferido de la cosmología. También se toma como base experimental la Nucleogénesis (Big Bang Nucleogénesis o BBN) con una abundancia relativa de ciertos elementos primigenios desde los que se formaron todos los demás.

Además, incorpora algunas características especiales a fin de explicar la evolución y la estructura actual del universo siendo la primera de ellas la suposición de que las leyes físicas son universales y no cambian de un lugar a otro. En segundo lugar encontramos la Constante Cosmológica Λ , que Einstein introdujo en las ecuaciones de la Relatividad General, originalmente para forzar que el universo fuera estático y que hoy se atribuye a una "energía oscura" (DE) que sería la causante de la aceleración del universo. En tercer lugar encontramos la "materia oscura fría" (Cold Dark Matter, CDM). Aproximadamente un 23% del contenido del universo debe estar formado por una materia, que actúa de forma gravitatoria, que es oscura y que no debe moverse a velocidades relativistas (es

⁴ El concepto "experimental" en cosmología es un tanto difuso. Como explica el astrofísico Torres Arza-yús (1999):

Ciertamente no es posible, como lo hace el químico, ir a un laboratorio a repetir el experimento de la formación del universo, o someter una estrella a las condiciones controladas del laboratorio. Más bien lo que hace el astrónomo es observar el experimento del universo que ya está hecho. La razón por la cual este procedimiento tiene validez científica es muy sencillo, y consiste en que las cuatro interacciones en la naturaleza actúan de igual forma independientemente del lugar en el universo donde se encuentra. Esto quiere decir, por ejemplo, que un átomo de hidrógeno siempre absorbe y emite fotones de la misma frecuencia independientemente de si se encuentra en mi escritorio, en la casa del vecino, en otro planeta o en otra galaxia. Este hecho me permite estudiar objetos lejanos sin tener que recrearlos en el laboratorio. Para sintetizar podríamos decir que la cosmología es una ciencia observacional.

fría) y sería la causante de los movimientos observados en las galaxias.⁵

3.2. La materia oscura

En este apartado trataré de explicar un poco más en profundidad el pilar básico de la oposición al paradigma Λ CDM: la 'materia oscura'. Esta materia es una hipotética materia que explicaría el movimiento observado de las galaxias⁶. Estos movimientos, principalmente de giro en galaxias que giran (espirales o no) (Fraknoi, Morrison y Wolff, 2017, p. 933-938), Mcgaugh, Lelli y Schombert, 2016, p.1 no concuerdan con las predicciones hechas basándonos en las fórmulas de la física aceptadas en la actualidad y denota una falta de masa que explicaría ese movimiento.

Las observaciones recientes, sin embargo, también han revelado un hecho bastante sorprendente e inquietante. Parece haber más, mucho más, en la Galaxia de lo que parece a simple vista (o al telescopio). A partir de diversas investigaciones, tenemos pruebas de que gran parte de nuestra galaxia está hecha de material que actualmente no podemos observar directamente con nuestros instrumentos. Por lo tanto, llamamos materia oscura a este componente de la Galaxia. Sabemos que la materia oscura está ahí por el tirón que ejerce su gravedad sobre las estrellas y la materia que podemos observar, pero de lo que está hecha esta materia oscura y cuánto de ella existe sigue siendo un misterio. Además, esta materia oscura no está confinada a nuestra Galaxia; parece ser una parte importante también de otros agrupamientos de estrellas. (Fraknoi, Morrison y Wolff, 2017, p.39) (Traducción propia)

Es decir: no se sabe nada de ella ni se ha detectado pero se observa una anomalía según la física aceptada y se comienza a buscar "algo" que "debería estar ahí" para que las fórmulas aceptadas y el modelo cosmológico general sigan en pie. Esto es debido a que, desde Newton se asume que una de las cuatro interacciones fundamentales, la gravitatoria, únicamente es producida por partículas masivas.

Además, no solo es que debe existir, sino que se trataría del tipo de materia predominante: la materia oscura constituiría el 26 % de "todo lo que existe" mientras que la materia ordinaria constituiría tan solo el 4 % (y la energía oscura constituiría el 70 % restante).

A esta masa invisible se le ha dado el nombre de materia oscura porque no emite luz y no se puede ver con ningún telescopio. Su composición es desconocida y solo se

⁵ Existen varias más, como la "inflación", "el principio antrópico", etc. Introducir todos ellos excede las limitaciones y objetivos de este trabajo.

⁶ Como he mencionado más arriba, debemos recordar que también aquí parece haber discrepancias en torno a qué se considera exactamente una galaxia (Kroupa, 2012, p. 6-7)

puede detectar debido a sus efectos gravitacionales sobre los movimientos de la materia luminosa que podemos ver. (Fraknoi, Morrison y Wolff, 2017, p.896. - traducción propia)

De nuevo debemos remitir a Latour (2007, p.86), quien hace una interesante observación aplicable por completo a esta materia oscura:

La lista de respuestas obtenidas en las pruebas de laboratorio definen por completo al nuevo objeto. (...) el nuevo objeto siempre debe su nombre al resumen de las pruebas que resistió ¡de la misma forma que los antiguos pieles rojas se llamaban "Mata osos" o "Temerario" o "Más fuerte que un bisonte"!

La materia oscura resiste a la prueba de la *visibilidad* y por eso es *oscura*⁷, no se ha encontrado manera de detectarla y por consiguiente, de probar su existencia y la explicación científica es que es precisamente "oscura", es decir, que no puede detectarse de las maneras conocidas hasta ahora, muy probablemente porque esté compuesta de "otro tipo" de materia⁸.

Efectivamente, la explicación científica predominante ha optado por formas creativas de justificar su falta de capacidad de detectarla y se han elaborado teorías en torno a su composición, que pasan por un nuevo salto cualitativo ya que se considera que debe estar formada por partículas no bariónicas⁹ aún desconocidas como son los WIMP (Weakly Interacting Massive Particles), o por elementos de partículas bariónicas aún no detectadas, los MACHO (Massive Astrophysical Compact Halo Object)¹⁰. Sin embargo, parece que hay acuerdo en que hay una restricción a la existencia de "demasiada" materia ordinaria en el propio modelo del Big Bang, con lo que los MACHO quedan prácticamente descartados y quedan casi como candidatos únicos los WIMP, compuestos de materia desconocida.

En esta búsqueda de nuevas partículas que puedan explicar el misterio de la materia oscura se trabaja en dos líneas: en primer lugar, se trata de conseguir una detección directa de la misma mediante diseño de artefactos que puedan ser capaces de hacerlo,

⁷ Parece una tautología pero mirando con perspectiva, los ejemplos del bautizo del átomo -indivisible- o del barión -pesado- aunque más adelante se convinieran falsos, viene a dar la una vez más la razón a Latour

⁸ Y, tratándose la cosmología de una "ciencia observacional", como he señalado que se autodenomina, en principio parece un pequeño gran fracaso de dicha ciencia.

⁹ Se denomina materia bariónica ("pesada") a la materia "ordinaria" que conocemos, compuesta por las partículas habituales que componen los núcleos atómicos (protones y neutrones) con sus correspondientes electrones. Para una explicación del modelo estándar de partículas más profusa pero asequible para no iniciados se puede consultar Moreira (2009). Para una explicación bastante más técnica pero al mismo tiempo mucho más contextualizada con el tema que nos ocupa se puede consultar Unsöld y Baschek (2001, p 487-488)

¹⁰ En un juego de palabras humorístico de dudoso gusto.

como es el caso en España de Multidark¹¹. En una segunda línea de investigación, se vuelven los ojos hacia otros laboratorios, en concreto hacia aquellos desarrollados por la comunidad de físicos de partículas y muy en especial hacia los grandes aceleradores y colisionadores de partículas, como en Europa el CERN¹². Es decir, se ha pasado de mirar al cielo con instrumentación específica diseñada para tal fin a pasar a mirar bajo tierra, a nuevos laboratorios en este caso de "partículas elementales"¹³.

Sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos e inversiones realizadas para conseguir probar su existencia y las varias décadas de trabajo encaminado a tal fin, aún no se han obtenido resultados satisfactorios.

Hasta aquí una breve descripción de la ciencia de la que nos estamos ocupando y del paradigma imperante en la misma. Sin embargo, a continuación veremos que hay varias alternativas teorizadas.

3.3. Otros modelos

Como he señalado más arriba, el modelo concordancia, de universo inflacionario y Big Bang, es el más ampliamente aceptado en el seno de la comunidad cosmológica contemporánea. Lo es tanto que incluso se expone como una certeza en muchos libros de texto y divulgación; de hecho, en todos los que he consultado se expone de este modo. Sin embargo, en algunos de ellos y tras explicar de una manera más o menos detallada el modelo hegemónico, se abre una sección que suele ser denominada "Modelos alternativos".

¹¹ "Método de Multimensajeros para la Detección de la Materia Oscura (MultiDark) es un Proyecto español financiado por el Programa Consolider-Ingenio 2010 del Ministerio de Economía y Competitividad. Comenzó el 17 de diciembre de 2009 y tiene una duración de 5 años. Ha sido extendido por dos años y medio más, hasta el 16 de Junio de 2017." <http://www.multidark.es/>

¹² "En el CERN, la Organización Europea para la Investigación Nuclear, físicos e ingenieros están investigando la estructura fundamental del universo. Utilizan los instrumentos científicos más grandes y complejos del mundo para estudiar los componentes básicos de la materia: las partículas fundamentales." <https://home.cern/about>

¹³ También se teoriza con nuevas posibilidades que permitan mantener de una u otra manera el Modelo estándar como, por ejemplo, la "supersimetría", también conocida como SUSY, que es una de las llamadas "teorías del todo" y que permitirían unificar las explicaciones de las teorías de lo micro - escala cuántica- y macro -escala cosmológica-. Como recuerda Muruyama en Bernardeau, Grojean y Dalibard (2007, p.301)

La motivación para la supersimetría es hacer que el Modelo Estándar sea aplicable a distancias mucho más cortas para que que las respuestas a muchos de los rompecabezas en el Modelo Estándar puedan ser dadas por la física a escalas de distancia más cortas. (Traducción propia)

Y es que desde el propio ámbito científico hay voces que se alzan contra el paradigma Λ CDM. El físico e investigador del Instituto de Astrofísica de Canarias, Martín López Corredoira (Arana y col., 2011, p.99 y ss.), hace un interesante y sucinto compendio de algunos de los más importantes modelos alternativos al Modelo Estándar¹⁴.

El primero de ellos es el del modelo del *estado cuasi-estacionario*, desarrollo teórico de Hoyle por un lado y Bondi y Gold por otro, quienes llegaron por separado a la misma conclusión a mediados del siglo XX: no hay un comienzo del universo porque es eterno y la materia se genera continuamente a un ritmo constante. Esta teoría (todavía *modelo estacionario*) y la del Big Bang de Gamow¹⁵ estuvieron enfrentadas al mismo nivel durante la década de 1950 pero finalmente salió victorioso el modelo del Big Bang. Sin embargo, en la última década del siglo fue revitalizada mediante unos ajustes en las fórmulas que explicaban ciertas observaciones por las que había sido derrotada a mediados de siglo y pasando a llamarse en su modo actual. Según sus partidarios, explica de un modo aproximado las observaciones existentes y además explica ciertas observaciones anómalas para los que el modelo del Big Bang no dispone de una explicación satisfactoria.

El segundo de ellos es *el universo de plasma*, propuesto, entre otros por Hannes Alfvén¹⁶, teoría que asume que la mayoría de la masa del universo es plasma¹⁷ controlado por fuerzas electromagnéticas, no únicamente por gravedad, como en el modelo estándar. Estas fuerzas eléctricas y magnéticas son las responsables de la formación de las estructuras de filamentos a gran escala y también de elementos a menor escala observadas en el universo. Esta teoría también asume que el universo ha existido desde siempre, siempre está evolucionando y seguirá de este modo por un tiempo infinito.

En tercer lugar podemos encontrar los diferentes *modelos estáticos* que afirman, como los dos anteriores, que el universo es eterno, pero en este caso, el espacio es infinito y euclideo y se niega rotundamente cualquier tipo de expansión. Dentro de este conjunto de diferentes modelos podemos encontrar *el universo eterno* (Hawkins), basado en la existencia de una presión negativa en el fluido cósmico basada en la relatividad; la *cosmología cronométrica* (Segal, Zhou), que asume que la estructura espacial global es de una hipersuperficie de tres dimensiones en un universo de cuatro dimensiones; la *cosmología*

¹⁴El propio autor afirma que "Aunque el modelo estándar conocido como Big Bang es el más conocido y comúnmente aceptado en cosmología, no constituye la única representación posible del cosmos ni tampoco está claro que sea la correcta, ni siquiera de forma aproximada".

¹⁵Fue el propio Hoyle quien bautizó de este modo a la teoría rival de Gamow para ridiculizarla, con dudoso éxito.

¹⁶Premiado con el Nobel de Física en 1970 por sus investigaciones sobre magnetohidrodinámica, aplicables precisamente a la física de plasma.

¹⁷El cuarto estado de la materia, además de sólido, líquido y gas (aunque se considera que existen algunos más)

de curvatura (Crawford) basada en una nueva interacción gravitatoria derivada de combinar la relatividad general y la mecánica ondulatoria o el *sistema ondulatorio* (Andrews), modelo que postula que el universo es un sistema puro de ondas con densidad de masa y parámetros de tensión proporcionales a la intensidad local de los modos de las ondas. En este modelo, los picos de las interferencias constructivas son las partículas elementales que conocemos.

Por último, encontramos otro grupo de modelos alternativos que surgen como *variaciones sobre el modelo estándar* y que solo difieren de este en algún aspecto concreto. Uno de ellos es el de la *cosmología newtoniana* (Milne) que apuesta por un espacio euclideo infinito, gravedad newtoniana y la expansión como un efecto Doppler del movimiento de las galaxias en recesión unas con respecto a las otras en lugar de una expansión del espacio. Otro modelo de este tipo es el *universo fractal* (Baryshev, Gabrielli) que postula que la estructura a gran escala del universo no tiende a una densidad constante con escala creciente, es decir, que es homogénea, sino que obedece a una distribución fractal. La *gran explosión fría* o *Cold Big Bang* (Layzer) niega el postulado del modelo del Big Bang de la altísima temperatura que debió haber en el comienzo del universo para irse paulatinamente enfriando y apuesta por un momento inicial de "temperatura cero". Además, existen múltiples modelos que realizan variaciones en la inflación o proponen elementos alternativos, como cuerdas cósmicas, variaciones en el tipo de materia oscura, formación de estructuras monolíticas en lugar de jerárquicas, etc. También dentro de este grupo encontramos el grupo de modelos en el que se inscribe el defendido en la controversia que estoy analizando. Se trata de los modelos que postulan *variaciones u oscilaciones en las constantes de la física* (velocidad de la luz, gravedad, etc.) con el tiempo o la distancia o incluso con la aceleración.

Este último es el caso del otro modelo que interviene en la controversia que analizo en este trabajo y que expongo a continuación: el modelo MOND

3.4. El modelo MOND

Más de cincuenta años después de su predicción y algunas décadas después del comienzo de la búsqueda de la misteriosa materia oscura, en 1983, Mordehai Milgrom, un físico del departamento de Física de Partículas y Astrofísica en el la universidad Weizmann Institute of Science de Israel, publicó su teoría MOND (MODified Newtonian Dynamics). Esta teoría, como su nombre indica, modifica los postulados Newtonianos de

dinámica (en concreto la segunda ley de Newton) para crear un marco en el que los movimientos observados (principalmente en el giro de varios tipos de galaxias) concuerden con lo esperable dentro de las formulaciones matemáticas sin tener que recurrir a la materia oscura.

Así, el propio Milgrom (1983b) señala que el primero de los supuestos básicos de MOND es que la dinámica estándar se rompe en el límite de pequeñas aceleraciones. El segundo es que la aceleración de una partícula en un sistema de gravitación (en esos límites de aceleración) viene dada por $(a/a_0)a$ g_N , donde g_N es la aceleración gravitacional convencional y a_0 es una constante con la dimensiones de aceleración. El tercero es que La transición del régimen newtoniano al régimen asintótico de baja aceleración está determinada por la constante de aceleración a_0 (en el sentido de que la transición ocurre dentro de un rango de aceleraciones del orden a_0 alrededor de a_0)

Simplificando un poco, podemos decir que la fórmula que aprendimos en la escuela representada por $\vec{F} = m\vec{a}$, o "fuerza es igual a masa por aceleración" bajo el punto de vista de este físico debe pasar a ser $\vec{F} = mf(x)\vec{a}$, es decir: la fuerza (gravedad) varía de manera diferente según las aceleraciones del sistema gravitatorio general porque a ciertos límites de aceleración, se debe aplicar una corrección en la fórmula para que encaje con los datos observacionales.¹⁸

Como explica el propio Milgrom (1983a, p.1-2) en su primer paper publicado:

Considero la posibilidad de que no haya, de hecho, mucha masa oculta en galaxias y

¹⁸ Siendo un poco más precisos, la fórmula de la gravitación universal de Newton es:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Donde \vec{F} : fuerza, G : constante de gravitación universal, m_x : masa del objeto x, y r : distancia entre los centros de dos objetos.

De esta fórmula se pasa a Relatividad General de Einstein y de ella a las ecuaciones de Friedmann y de fluido, los dos pilares básicos de la astrofísica contemporánea. Como apunta Zorzano (2008c, p.1-2)

La ecuación de Friedmann es una consecuencia de las ecuaciones de Einstein de la relatividad general y es precisamente la que gobierna la expansión del Universo. La ecuación de fluido se deriva de la primera ley de la termodinámica al calcular el trabajo hecho por la presión cuando se expande el Universo. La ecuación de Friedmann se va a derivar para un universo newtoniano en el que el movimiento es no relativista y donde la gravedad es debida simplemente a la atracción entre masas. Se aplica, entonces, la conservación de la energía mecánica al movimiento de una galaxia en un universo homogéneo en expansión. La energía conservada será la suma de la energía cinética no relativista más la energía potencial gravitatoria. Y la ecuación de Friedmann será su consecuencia.

Para pasar a las ecuaciones que realmente proporciona la relatividad general (RG) basta usar la equivalencia de masa y energía. Lo que haremos será interpretar la densidad de masa en la ecuación de Friedmann 'newtoniana' como densidad de energía e incluiremos en ella todas las formas de energía. La relatividad general proporciona exactamente la misma ecuación de Friedmann que se ha obtenido por el anterior método.

sistemas de galaxias. Si se utiliza una cierta versión modificada de la dinámica newtoniana para describir el movimiento de los cuerpos en un campo gravitacional (de una galaxia, por ejemplo), los resultados observacionales se reproducen sin necesidad de asumir masa oculta en cantidades apreciables. Varias características de las galaxias encajan sin más suposiciones. (...)

El éxito de esta dinámica modificada en la explicación de los datos puede interpretarse como una necesidad de cambiar la ley de inercia en el límite de pequeñas aceleraciones o un cambio de gravedad más limitado.

Como vemos, a pesar de que parece una leve variación del modelo Λ CDM y de que dan por buenos la gran mayoría de los elementos del modelo estándar, el modelo MOND mueve los pilares básicos de la física contemporánea ya que la dinámica newtoniana es aplicada también a la relatividad general y esta, como hemos visto, es el cimiento teórico del modelo cosmológico imperante en la actualidad.¹⁹

Así, tanto Milgrom como Stacy McGaugh, un astrofísico estadounidense del Case Western Reserve University, quien respalda sus tesis y ha continuado con las investigaciones ganado creciente popularidad, son los mayores teóricos y cabezas visibles o portavoces de la oposición al modelo Λ CDM desde el modelo MOND. A continuación nos ocuparemos de esta controversia desde los documentos producidos por estos dos científicos con algunos breves comentarios de otros agentes involucrados en esta controversia.²⁰

¹⁹ Y elemento imprescindible en el diseño de algunos artefactos aplicaciones de uso cotidiano como, por ejemplo, el sistema GPS.

²⁰ Hay otros personajes públicos que se enfrentan a esta teoría pero sus desarrollos son recientes y algo diferentes y no han alcanzado la notoriedad de los que voy a exponer. Tal vez Erik Verlinde (físico holandés que incluye mecánica cuántica para explicar la "Gravedad Emergente" y eliminar la necesidad de la materia oscura también modificando las leyes de Newton (Verlinde, 2011)) sea el único que merecería mención especial pero, curiosamente, él mismo se niega a que su desarrollo teórico sea clasificado como una variación dentro del paradigma MOND, cosa que veremos que no es bien encajado por Milgrom, padre de dicho paradigma.

Capítulo 4

La controversia de la materia oscura

Una vez presentadas los dos modelos enfrentados, a continuación trataré de exponer la controversia y unificar y estructurar las múltiples críticas de los partidarios de MOND hacia el modelo Λ CDM.

Como ya he referido en el capítulo anterior, en el origen de esta controversia se sitúa la materia oscura (aunque veremos que, en realidad, hay mucho más). El modelo Λ CDM la necesita para poder ser un modelo totalizante, en el que todas las piezas teóricas y observacionales encajen. Desde este modelo se confía en que este tipo de materia será finalmente detectada en un futuro más o menos próximo y se atribuye a la falta de tecnología adecuada. Obviamente, no se cuestiona su existencia y se la considera algo "normal" dentro del modelo, a pesar de lo, casi podría denominar "esotérico" de su aparición en el modelo cosa que, por otro lado, no sucede con otro tipo de cuestionamientos, (constantes y fórmulas físicas, por ejemplo) como veremos más adelante.

En este sentido, uno de los ataques favoritos de los partidarios de MOND contra el modelo Λ CDM es el referirse a la controversia del éter del siglo XIX. Esta controversia es especialmente interesante para este sector porque incluye varios elementos con los que creo que se sienten identificados: se acepta una teoría de fondo que es la que exige que dicha sustancia "debe" existir, de lo contrario, nuestro andamiaje conceptual sería incorrecto y nuestras fórmulas inválidas a pesar de que la afirmación de que tal sustancia debe existir es contraria a muchos de los postulados que manejan en ciencia (navaja de Occam, etc.). Después de varios experimentos infructuosos tratando de detectar el éter, la controversia se cerró a principios de S XX, quedando la existencia del éter descartada y en su lugar se aceptó la "relatividad especial" de Einstein¹.

¹ Para una visión algo más detallada de esta controversia y de los experimentos realizados se puede consultar Solís y Sellés (2015, p.829-845)

La materia oscura sigue siendo el consenso científico, pero MOND es ahora un oponente formidable que proclama que el emperador no tiene ropa, que la materia oscura es el éter de nuestra generación. (Milgrom, M. en Carmeli (2017)) (Traducción propia)

Y, al igual que en la controversia en torno al éter, no es una sustancia cualquiera, se trataría de todo lo que nos rodea, de aquello de lo que está compuesto la mayoría de nuestro entorno

No creo que sea correcto decir que sabemos cómo funciona el Universo cuando no entendemos la mayoría de lo que está hecho. Es cierto que una vez que nos convenimos a nosotros mismos de los cuentos de la energía y la materia oscuras, muchos de los aspectos de la Cosmología adquieren sentido, pero no todos. Pero esto solo es verdad solo si esas cosas realmente existen. (McGaugh, S. en López Sánchez (2017))

Y para unos científicos que presuntamente están estudiando el universo desde una perspectiva cosmológica no deja de ser un gran problema no poder afirmar que se conoce de qué está compuesto la mayoría de él. Pero en la cita anterior se introduce un nueva línea argumental que no es otra que las construcciones teóricas y modelos son aparatos conceptuales que se construyen unos sobre otros pero en muchas ocasiones son gigantes con pies de barro.

Pero aún hay otra controversia ya cerrada que se menciona en varias ocasiones por parte de los partidarios del modelo MOND es la de geocentrismo y heliocentrismo:

¡Obviamente, es muy importante resolver esta discrepancia! Es una enorme diferencia que haya una masa invisible o que haya que cambiar alguna ley más general de la gravedad. En el primer caso, nosotros (parte de la materia normal), no somos más que una excepción, un madero flotando en un océano enorme de materia oscura. En el segundo caso, hay algo fundamentalmente nuevo que aprender acerca de cómo funciona la naturaleza. (...) De hecho, esta diferencia nos dice cómo nos vemos a nosotros mismos y cuál es nuestro lugar en el Universo, lo que me recuerda al antiguo debate que surgió entre geocentrismo y heliocentrismo. (McGaugh, S. en López Sánchez (2017))

Como vemos, la identificación con una controversia ya cerrada les parece un gran recurso a su favor ya que la pugna de paradigmas está en la naturaleza de este tipo de controversias. Pero además, en este caso en concreto el símil parece claro: el geocentrismo era el paradigma imperante y, sin embargo, estaba equivocado porque suponía ciertos aspectos sin ninguna prueba empírica. Para que el modelo encajase se hacían cabriolas teóricas y geométricas para acomodar los datos empíricos al paradigma, en este caso a través de los epiciclos². El paradigma rival era muy minoritario y, a pesar de que fue duramente criticado e incluso reprimido, era el correcto. Y acabó imponiéndose. Y al

² Más adelante volverán a salir a relucir en referencia a otros aspectos metodológicos.

imponerse cambió la manera de pensar de quiénes somos; dejamos de ser el centro de "todo" para pasar a estar orbitando al sol. La diferencia es abismal. Y de la misma manera, McGaugh considera que hay una diferencia ontológica importante en decidir que la humanidad y todo lo que conocemos hasta ahora es tan solo una pequeña fracción de "lo que existe"

Desde el paradigma en vigor, las cosas se ven desde otra perspectiva. Y es que parece que una cosa es deducir que "debe" existir algo, aunque ese "algo" presuntamente suponga el 96 % de todo lo que existe, a proponer que tal vez la física con la que se trabaja desde hace varios siglos no es la adecuada; o lo que es peor: es incorrecta. Como señala Carmeli (2017, p.44 - traducción propia)

Hasta donde sabemos, el modelo de concordancia aún se ajusta a todos los datos sin la necesidad imperiosa de invocar física exótica como la supersimetría, la teoría de cuerdas o la gravedad cuántica.

Como queda patente, la materia oscura *no es exótica* o, si lo es, siempre es mejor que invocar una nueva "física exótica". Desde los modelos críticos con el modelo Λ CDM (no solamente desde MOND), lo que se está planteando de fondo es que, efectivamente, la física contemporánea está levantada sobre unos pilares bastante "creativos". Kroupa (2012, p.5) señala que

La comprensión popular actual de la cosmología se basa en la hipótesis nula ("Hipótesis 0i") de que la Relatividad General también es válida en escalas galácticas y cosmológicas. Esta es una vasta extrapolación por muchos órdenes de magnitud desde la escala de dinámica planetaria bien probada hasta las escalas galácticas y cosmológicas de campos ultra débiles, cuya dinámica fue probada solo mucho después de que Einstein hubiera finalizado la Relatividad General usando constantes newtonianas, es decir, esencialmente restricciones del sistema solar.

Según este autor, esto lleva a ir adoptando cada vez más hipótesis que acaban desembocando inexorablemente en el modelo Λ CDM. Esto lleva a preguntarse si los cimientos de esta ciencia están sólidamente cimentados o si tal vez se esté produciendo una "huida hacia adelante" para no asumir el error del paradigma.

Milgrom cree que es así y considera que esa extrapolación fue un error. No duda de que ese error será subsanado pero, como veremos más adelante, cree que no se produce una acumulación de conocimientos, al igual que señalaba Kuhn, sino que cada uno de los dos paradigmas explica ciertos aspectos fenomenológicos (aunque considere a su paradigma como claramente superior):

Sin embargo, debe recordarse que lo que MOND ya ha explicado en las galaxias es

mucho más de lo que aún queda por lograr en cosmología. En cierto sentido, cada galaxia es un universo en sí mismo que ofrece la mayor cantidad de datos que una teoría puede igualar, al igual que la cosmología en general. La dinámica newtoniana fue, después de todo, deducida con solo un "mini-universo" en mente: el sistema solar. No hay razón para dudar de que alguna versión relativista de MOND será capaz de dar cuenta de lo poco (epistemológicamente) que aún queda por explicar. Milgrom (2010, p.14) (Traducción propia)

Como pequeño apunte, es curioso que Milgrom retome el concepto utilizado por Kant a mediados del siglo XVIII de "universo-isla" ("mini-universo", dice Milgrom) para referirse a las galaxias (Solís y Sellés, 2015, p.706). Pero parece que, efectivamente, en este caso le resulta muy provechoso: estos conceptos tienen una connotación de inconmensurabilidad. No se puede ni debe extrapolar lo que conocemos de nuestra galaxia hasta las demás. Pero, una vez que se realiza dicha extrapolación y se da por buena por casi la totalidad de científicos, y una vez que se comienzan a levantar voces que impugnan dicho paradigma, lo que nos encontramos es con una situación en la que hay definitivamente dos grupos de científicos trabajando con paradigmas diferentes. Para S. S. McGaugh (2014)

MOND y "standard-dynamics-plus-DM" son dos paradigmas que compiten entre sí y que se practican uno al lado del otro, y los seguidores de cada uno señalan complacidos los éxitos de su propio paradigma y las deficiencias de su competidor. Sin embargo, los dos no son paradigmas hermanos para ser probados en las mismas piedras de toque. Explican las enormes discrepancias de masa observadas en el universo de maneras completamente diferentes, y juzgarlas requiere diferentes criterios. (Milgrom, 1983a, p.13)(Traducción propia)

Nótese que parece que se llega a negar a denominar al paradigma rival por el nombre que se le conoce, Λ CDM, y lo redenomina algo así como "Dinámica-Estándar-más-Materia-Oscura" lo cual parece claro que es un intento por ridiculizarlo. Sin embargo, lo relevante se esta cita es esa visión que planteaba Kuhn de que los científicos ven cosas nuevas al mirar en sitios conocidos, que los dos paradigmas son inconmensurables y que, mientras dure la pugna, ambos se practican uno al lado del otro, hasta que se produzca la "revolución científica" que hará que el mundo cambie con el propio paradigma vencedor.

Otra de las cuestiones que analizaba este autor era el de la acumulación de conocimientos. No es muy habitual que desde los propios círculos científicos se plantee que la ciencia no es una acumulación gradual de conocimientos³ Pero en este caso, los propios científicos involucrados en la controversia, por supuesto, los defensores de MOND, quienes consideran que el paradigma imperante está equivocado, hacen esta reflexión. Milgrom, por ejemplo, afirma:

³salvo honrosas excepciones como Galadí-Enríquez y Gutiérrez (2001) o Solís y Sellés (2015)

Tuve un excelente profesor de física en la escuela, pero cuando estudias material de libros de texto, estás estudiando *tratos hechos*. Todavía no se ve el esfuerzo que implica la creación de una ciencia innovadora, cuando las cosas no están claras y los avances se hacen de manera intuitiva y a menudo salen mal. No te enseñan eso en la escuela. Te enseñan que la ciencia siempre avanza: tienes un cuerpo de conocimiento, y luego alguien descubre algo y expande ese cuerpo de conocimiento. Pero en realidad no funciona de esa manera. El progreso de la ciencia nunca es lineal. (Milgrom, M. en Carmeli (2017) - traducción propia)

La ciencia no es lineal y, aunque para Milgrom siempre “progresas”, hay saltos rupturas, avances y retrocesos y además los errores forman parte de la misma. Es decir: parece que en este caso justifican que sus adversarios hayan cometido el error de “dejarse llevar” por el paradigma imperante, aunque este haya surgido de una manera un tanto “intuitiva” pero ellos han conseguido vislumbrar la salida. También es reseñable que consideren que esta visión del devenir de la ciencia sea algo que es ocultado en “la escuela”⁴ Pero, como vemos, también cabe lugar para la crítica hacia los “tratos hechos” en el sentido de casi “negocios” (“done deals”) que supone que ciertas teorías y modelos aparezcan en los libros de texto. Como he señalado en la exposición sobre el modelo estándar en cosmología, todos los libros de texto y casi todos los de divulgación presentan como una certeza el modelo Λ CDM y solo algunos incluyen referencias a otras posibilidades (aunque se las suele presentar como “remotas”).

Y es que también sabemos que los paradigmas son difíciles de sustituir, aunque existan alternativas plausibles. Y aunque los agentes que presentan una alternativa plausible y, desde su punto de vista, con claras ventajas tengan claro que terminará imponiéndose su modelo, saben que el camino para adoptar un nuevo modelo de estas características es lento y difícil. Milgrom lo sabe y no duda en que también tiene sus ventajas (aunque también podría ser una buena forma de lidiar con la frustración):

En general, los últimos 35 años han sido emocionantes y gratificantes exactamente porque he estado abogando por un paradigma inconformista. Soy un solitario por naturaleza, y a pesar de los tiempos desalentadores e inciertos, prefiero esto que haberme dejado llevar por la corriente general. Tenía plena confianza en la validez básica de MOND desde el principio, lo que me ayudó mucho a tomar todo esto con calma, pero hay dos grandes ventajas para la persistente oposición a MOND: En primer lugar, me dio tiempo para hacer más contribuciones a MOND de lo que hubiera hecho si la comunidad hubiera saltado al vagón MOND desde el principio. En segundo lugar, una vez que se acepte MOND, la larga y amplia resistencia a él solo habrá demostrado cuán poco trivial es la idea. (Milgrom, M. en Carmeli (2017)) (Traducción propia)

⁴ No queda claro a qué nivel educativo se refiere. Tampoco queda meridianamente claro si habla únicamente de su experiencia personal o si, como parece y en cierta medida, lo generaliza a todos los niveles del sistema educativo y posiblemente a los medios de divulgación científica

Pero conseguir comenzar una crítica al paradigma en vigor no es tarea sencilla, Y mucho menos plantear una alternativa completa. Se pueden encontrar oposiciones desde múltiples ámbitos. Uno de ellos y también uno de los primeros⁵ es la propia academia. El proceso de publicación en revistas especializadas, mediante revisiones por pares es un excelente mecanismo para evitar algo así.

Al final de mi año sabático en Princeton, había escrito en secreto tres documentos que presentaban MOND para el mundo. Publicarlos, sin embargo, era una historia completamente diferente. Al principio, envié mi trabajo de núcleo a diarios como *Nature* y *Astrophysical Journal Letters*, y fue rechazado casi por completo. Pasó mucho tiempo hasta que los tres artículos se publicaron, uno al lado del otro, en *Astrophysical Journal*. (Milgrom, M. en Carmeli (2017)) (Traducción propia)

Y sin publicación de "papers" la relevancia de un científico y por descontado, de sus investigaciones, es casi nula⁶. Efectivamente, es muy importante ganar aliados para la causa. Serán ellos quienes construyan el "hecho", como apuntaba Latour (1992)

Lenta pero seguramente, esta pequeña oposición a la materia oscura creció de solo dos físicos a varios cientos de defensores, o al menos científicos que toman MOND en serio. (Milgrom, M. en Carmeli (2017) - traducción propia)

Atraer aliados a la causa es bueno, y necesario, siempre que no se transgreda la la norma de la autoría. Es imprescindible el reconocimiento a los "padres" del modelo con el que se trabaja. El prestigio también es algo importante en esta comunidad y aquí se produce el choque: el científico emergente busca notoriedad mediante publicaciones de impacto, cosa que se consigue mucho mejor siendo original e inconformista en las bases de la investigación. Sin embargo, el veterano puede considerar que se está utilizando su modelo para intereses espurios. Milgrom exige reconocimiento personal en el trabajo de Verlinde (2011) al cuestionar este también la materia oscura:

Mordehai Milgrom, del Instituto Weizmann, en Israel, dice que el trabajo es "muy bienvenido", porque ayuda a atraer a científicos de disciplinas como la teoría de cuerdas al desarrollo de alternativas a la relatividad. (...) En su opinión, la teoría de Verlinde es una derivada parcial de su propio trabajo, al que además el físico holandés no habría reconocido como debe. (Domínguez, 2016)

En cuanto a la propia lógica de la ciencia en un sentido más metodológico también encontramos serias críticas. La primera de todas es la de "En igualdad de condiciones, la explicación más sencilla suele ser la más probable" que se suele denominar "el principio

⁵ Dejaremos por ahora de lado otras cuestiones, como por ejemplo que sin una fuente de financiación de los proyectos, la posibilidad de desarrollo e investigación en ciertas líneas prácticamente ni se puede plantear.

⁶ Recordemos a Latour (1992) y sus exposiciones sobre los hechos como proceso de construcción colectiva y la importancia de los aliados

de la navaja de Occam” y que en los ámbitos científicos se suele considerar muy importante e incluso se suele utilizar precisamente como arma arrojadiza contra discursos y explicaciones “no científicas”⁷. Así, McGaugh afirma que

El principio de la navaja de Occam es muy importante para mí. Y MOND gana por goleada a la materia oscura. Un sencillo cambio en la ley de la fuerza de la gravedad explica casi todos los datos importantes. Esto dejó patidifusos a muchos, pero es lo que encontré. Para hacer que la materia oscura explique las mismas cosas que MOND predice, tienes que añadir un efecto extraño sobre otro efecto extraño. Esto viola el principio de la navaja de Occam de la misma forma que los epiciclos de Ptolomeo lo hacían al explicar el movimiento retrógado de los planetas. Puedes hacerlo, siempre puedes forzar las cosas para lograrlo, pero no es satisfactorio. (McGaugh, S. en López Sánchez (2017))

De nuevo aparecen los epiciclos de Ptolomeo, una controversia cerrada muy provechosa para los partidarios de MOND y con gran similitud desde su punto de vista por lo “creativo” del ajuste de los datos observacionales al modelo teórico. Y por lo errado que estaba, por supuesto.

Y es que no se trata solo de toda esa creatividad. Aquí también encontramos otro problema: si esa materia existe, debería poder ser detectada, cosa que no está sucediendo. Así, aquí nos encontramos con el problema de la falsabilidad Popperiana, presuntamente básica en ciencia:

Estos experimentos han hecho progresos fantásticos en no detectar las WIMPs. Pero si realmente existieran con las propiedades que originalmente imaginamos, habrían sido detectadas hace años, incluso hace décadas. (...) Muchos de mis colegas te dirán que MOND ya está descartada. Quizás están en lo cierto, aunque creo que han saltado demasiado rápido a la conclusión que prefieren. Pero al menos MOND es una hipótesis científica falsable por medio de experimentos. Y no es obvio que la materia oscura tenga esa misma propiedad. (McGaugh, S. en López Sánchez (2017))

El problema, para los críticos, realmente es que se confía demasiado en los modelos y simulaciones por ordenador. Como recuerda Massimi (2018, p.16 - traducción propia), “Las simulaciones cosmológicas han sido bienvenidas en la comunidad como evidencia de que el modelo de Λ CDM es realmente correcto”. Sin embargo, estas simulaciones están orientadas y sus resultados reflejan estas orientaciones:

por el momento, estos modelos cosmológicos evidentemente necesitan ser revisados minuciosamente con muchas otras posibles pruebas astrofísicas para confirmar o debilitarlos. En vista de otras pruebas, se debe enfatizar un punto sobre la metodología:

⁷ Por ejemplo, es el recurso que se acostumbra a utilizar en el caso de la construcción de las pirámides por parte de alienígenas, tal y como ocurre en este blog: <http://ciberproferoberto.blogspot.com/2011/03/la-navaja-de-occam-en-moais-lineas-de.html>

para ser válido, una prueba debe ser internamente coherente y no descansar en propiedades o inferencias del marco de otros modelos cosmológicos, un punto que no siempre es evidente. Maeder (2017, p.21) (Traducción propia)

En torno al software de simulación se abren dos cuestiones relevantes: por un lado está el de la industria que hay detrás. Efectivamente, hay todo un modelo de negocio en torno al desarrollo del software de simulación, como explica Massimi (2018, p.21-22 - traducción propia):

se trata de una industria en torno a las simulaciones de materia oscura (...) la industria que ha florecido alrededor de las simulaciones de computadora en la cosmología también es indicativo de que el problema con el modelado de la fenomenología de galaxias dentro de Λ CDM no se puede esconder debajo de la alfombra.

Esta industria se divide en dos tipos de software, los HYD y los SAM. Sin entrar en detalles sobre cómo funciona cada uno, las asunciones de paradigma y las implementaciones concretas según dos modelos diferentes, baste aquí hacer notar que es de suponer que en esta industria existe una pugna por el mercado, lo cual es posible que produzca ajustes finos ("fine tuning") a la hora de adecuarse con lo que espera de ese software⁸.

Además, estos instrumentos han sido cajanegrizados doblemente: en primer lugar internamente, los módulos que hacen funcionar el software no interactúan entre sí⁹, Esto puede ser válido en el desarrollo de un software de proceso de textos o similares, pero en ningún caso se puede ignorar la interdependencia de la materia, las fuerzas y demás elementos y eventos interconectados y relacionales. Como explica Massimi (2018, p.18) al referenciar a los creadores del principal software de simulación cosmológica:

Cattaneo et al. (2017, 2) usa la siguiente analogía para explicar la independencia entre los módulos: "La relación entre HALO y GALAXY se puede comparar a la existente entre un molino y un panadero. Hay un intercambio de materia en ambos sentidos (entradas y salidas, harina y dinero) pero el panadero no necesita saber si la harina se ha molido con agua o un molino de viento. Tampoco el molinero sobre las recetas del panadero. Esta filosofía explica algunas opciones prácticas, como la de los subpasos de tiempo en la Sección 3.4. Una galaxia contiene diferentes componentes, como un disco, una corneta o una barra (...), pero la formación de estrellas y la retroalimentación dentro de un componente se siguen en el módulo COMPONENTE. La escala más baja corresponde a los módulos STAR (evolución estelar) y GAS (medio interestelar)".

Pero también externamente, en un modelo de caja negra al puso estilo de Latour

⁸ ¿También en este ámbito "El cliente siempre tiene la razón"?

⁹ Por definición, en diseño de programas, un módulo contiene diferentes funciones, recibe un input, procesa la información a través de esas funciones según sus algoritmos y devuelve un output al programa principal o a otro módulo.

(1992) en el que los cosmólogos desconocen el mecanismo interno ¹⁰ de ese artefacto o, tal mejor dicho, de ese *mecanismo de inscripción* en concreto.

Además, recordando el viejo chiste sobre físicos y vacas esféricas¹¹, puede que las simulaciones que se necesitan realizar sean demasiado complejas y no computerizables a día de hoy y lo que se hace es simplificar en una escala aprehensible y computable:

Binney señala que las simulaciones de materia oscura luchan en la escala de galaxias individuales porque "la física de la formación de galaxias es demasiado compleja para calcularla adecuadamente", lo que implica que actualmente es imposible decir si la materia oscura puede explicar estos resultados o no. "Desafortunadamente, saber eso está más allá de la capacidad de la humanidad en este momento. Cooper, 2016 (Traducción propia)

Pero entonces surge la pregunta de qué sentido tiene todo este debate en torno al uso de simulaciones por ordenador y sus resultados para modelar la materia oscura a escala galáctica. Massimi (2018, p.21 -traducción propia) afirma que "pocos físicos en el campo afirman que el éxito o el fracaso del modelo Λ CDM depende de ellos." y añade que "nadie debería esperar que las simulaciones por computadora resuelvan el debate entre Λ CDM y MOND dado lo pobres que podrían ser para hacer este trabajo."

S. S. McGaugh (2014, p.8 - traducción propia) parece que tiene claro el problema:

En la actualidad, no es posible conciliar todas las líneas de evidencia. Por lo tanto, uno tiene que sopesar las diversas líneas de evidencia como mejor le parezca. Entonces, la respuesta sigue del esquema de ponderación que se haya elegido. Eso está bien, pero puede conducir a una actitud poco saludable en la que simplemente asumimos que nuestro paradigma favorito es correcto y todo lo demás debe ir en consecuencia. Si estamos convencidos de que Λ CDM es correcto, entonces modelar galaxias es una distracción molesta en lugar de un problema fundamental para abordar de frente. Del mismo modo, si estamos convencidos de que MOND es correcto, entonces Λ CDM es simplemente el mejor representante/procurador convencional para la verdadera cosmología de la teoría relativista subyacente en MOND.

Es decir: todo depende del paradigma con que se mire. Parece que McGaugh asume que las simulaciones simplemente reafirman a los defensores de uno u otro modelo (por supuesto, el suyo es mucho más plausible) porque en el propio diseño del software van inscritas las premisas del paradigma. No sería más que una herramienta para autorealizarse en la creencia en el propio paradigma. Y el problema que parece plantear es el del "estancamiento" del campo, en contraposición a la ya señalada visión de "progreso constante" de la ciencia.

¹⁰ Además de los procesos y relaciones que han hecho posible que ese software junto con ese hardware ofrezcan los resultados que ofrecen

¹¹ Chiste y más información: https://es.wikipedia.org/wiki/Vaca_esf%C3%A9rica

A pesar de este ataque sistemático a las simulaciones, el equipo de McGaugh también realiza (contra)experimentos, utilizando el mismo instrumento, aunque con otro software que se corresponde a otro modelo. A pesar de ello, en esta ocasión, las *inscripciones*¹² son definitivas y concluyentes:

McGaugh le dijo a physicsworld.com que el equipo estaba "asombrado por lo que vimos cuando Federico Lelli imprimió los datos." (Cooper, 2016) (Traducción propia)

Sin embargo, cuando se realiza un estudio desde un paradigma concreto, tanto los datos utilizados para la simulación o el proceso como los resultados han pasado varias etapas de selección e interpretación, como recordaba Knorr (2005). En ocasiones, los resultados producidos llegan a ser ininteligibles para colegas que no han participado en el proceso y que no comparten las presuposiciones que se están tomando por parte del equipo investigador:

"Es una impresionante demostración de algo, pero no sé qué es es algo", admite James Binney, físico teórico de la Universidad de Oxford, que no participó en el estudio. Cooper, 2016 (Traducción propia)

Aquí vemos dos cosas. Por un lado, se confía en los datos de las mediciones, pero se desconfía de su precisión. Además, se minimizan las inconsistencias del propio paradigma, como es normal:

-¿Todos ellos? Algunos documentos afirman que MOND no fue capaz de predecir la dinámica de ciertas galaxias.

-Eso es cierto y está perfectamente bien, porque las predicciones de MOND se basan en mediciones. Dada la distribución de la materia regular y visible sola, MOND puede predecir la dinámica de las galaxias. Pero esa predicción se basa en nuestras mediciones iniciales. Medimos la luz proveniente de una galaxia para calcular su masa, pero a menudo no conocemos la distancia a esa galaxia, así que no sabemos con certeza cuán masiva es esa galaxia. Y hay otras variables, como el gas molecular, que no podemos observar en absoluto. Así que sí, algunas galaxias no coinciden perfectamente con las predicciones de MOND, pero en general, es casi un milagro que tengamos suficientes datos sobre galaxias para demostrar que MOND tiene razón, una y otra vez.(Milgrom, M. en Carmeli (2017)) (Traducción propia)

Los números se pueden utilizar de muchas maneras y se pueden relativizar todo lo que se considere oportuno. Si una medición estropea la predicción del paradigma, siempre se puede relativizar diciendo que es "normal" en astrofísica minimizando el error, aunque cuando se consigue una precisión mayor, a pesar de aplicar el mismo sistema de cálculo, es un gran éxito. El error del paradigma rival siempre va a ser más escandaloso.

Esta hipótesis ha sido confirmada y rechazada repetidamente. Lo que mantiene mi

¹²Ver Anexo B

interés en ella son dos cosas. Por una parte, los datos que la rechazan son marginales: solo "falla" en un 20% en la predicción de la velocidad de dispersión en cúmulos de galaxias. Esto es un fallo pequeño dentro de los estándares de la Astronomía. Por otra parte, MOND hace predicciones muy específicas para galaxias de bajo brillo. Es cierto que estas han mostrado ser correctas y erróneas una y otra vez, pero también es verdad que la materia oscura no hace las mismas predicciones. Además, las predicciones de MOND que sí aciertan son muy específicas, y uno no puede esperar lograr algo así con la materia oscura. (McGaugh, S. en López Sánchez (2017))

Pero, definitivamente, el paradigma MOND confía en los datos y no en simulaciones, como acusan al paradigma Λ CDM. Lo importante, como vemos. Se trata de separar "los datos" de "la teoría".

He experimentado una y otra vez que hay gente que descarta los datos porque cree que MOND está equivocado, así que estoy dibujando muy conscientemente una línea roja entre la teoría y los datos. (McGaugh, S. en Cooper (2016)) (Traducción propia)

En este caso, parece que Kuhn (2004) y Knorr (2005) no han acertado, ya que "los datos" son perfectamente objetivos, en ningún caso se basan en selecciones sobre selecciones, en colecciones de ellos reunidos con dificultad y utilizando cajas negras sobre otras cajas negras. La diferencia parece ser clara: los datos son objetivos e incontestables extraídos de una manera objetiva desde una perspectiva realista y, en cambio, las simulaciones parecen considerarse un producto humano, con las imperfecciones propias de los mismos como las presuposiciones y teorías que los producen y las limitaciones tecnológicas propias actuales.

Pero dejemos de lado ya la metodología y epistemología.

Organización social y capital científico

Llegados a este punto, creo conveniente dar paso a la siguiente cuestión que no es otra que la organización social del campo científico y la pugna por el capital científico, el prestigio y el reconocimiento. Veámos en el marco teórico cómo, lejos de tratarse de un ámbito personal, las instituciones también luchan por su reconocimiento y por capitalizar los productos del trabajo de los científicos, que luego se traducirá en prestigio, ingresos económicos, etc. En ocasiones las instituciones modelan más de lo que pudiera parecer en un principio. Las instituciones tienen hojas de ruta y objetivos que cumplir y, en ocasiones, ello hace que se abran nuevas vías de investigación. Al ser preguntado por cómo se introdujo en el problema de la materia oscura, Milgrom afirma:

Hacia el final de mi doctorado, el departamento de física aquí quería expandirse. Entonces nos preguntaron a tres de los mejores estudiantes de Doctorado que trabajábamos en física de partículas para elegir un nuevo campo. Elegimos la astrofísica, y el Instituto Weizmann movió unos hilos con instituciones en el extranjero para que nos aceptaran como postdoctorales. Y así fui a Cornell para llenar mis lagunas en astrofísica. (Milgrom, M. en Carmeli (2017)) (Traducción propia)

Aunque desconocemos la historia completa y los matices (necesarios, por otra parte) para sacar más conclusiones al respecto, aquí quiero hacer notar de nuevo la cercanía entre la física de partículas y la cosmología que vimos en el capítulo anterior y, por supuesto, cómo la institución fue la que modeló la carrera de Milgrom, buscando "una expansión". Desconocemos hasta qué punto Milgrom estaba interesado en la cosmología, vio peligrar su puesto de trabajo o vio la posibilidad de "despuntar" en un ámbito todavía virgen en su universidad y sin apensa adversarios.

En este campo científico, una de los mayores retos es conseguir "hacerse un nombre". Así, además de otras cuestiones que más adelante veremos, para McGaugh, uno de los principales alicientes para los científicos en la búsqueda de materia oscura es el interés personal; el prestigio es lo primero ¹³, ya que, como vimos, el interés científico no es "altruista"

La gente ha estado buscando esta materia oscura porque hay un premio Nobel, seguro, esperando a quien la descubra. (Stacy McGaugh, 2015, min 21:30 - traducción propia)

En cambio, Milgrom parece que no aspiraba a llegar tal alto como ha llegado cuando comenzó con su revolucionario modelo alternativo y afirma: "Nunca soñé con algún día hacer un descubrimiento importante, como corregir a Newton. (Milgrom, M. en Carmeli (2017) - traducción propia)

Pero, de hecho, lo hizo. Y ha removido los cimientos de la comunidad cosmológica con ello, ha creado un programa de investigación y una corriente de opinión crítica con el sector "oficial", como estamos viendo. Su nombre es reconocido, para bien o para mal, en el ámbito cosmológico en todo el mundo, algo bastante impresionante para un físico que investiga en una universidad israelí.

En este sentido, McGaugh también se muestra humilde, a pesar de estar en una situación similar: reconocido en todo el mundo, ponente de múltiples conferencias, ha dejado una huella en la historia de la ciencia. Desde mi punto de vista, creo que ha conseguido que, pase lo que pase con el desenlace de esta controversia, su nombre aparezca

¹³ Aunque los casi 900.000€ pueden tener también algo que ver

como destacado en la misma.

Mi nombre suele ser pronunciado en este contexto porque hice un experimento (no muchos) que confirmó las predicciones de MOND en galaxias de bajo brillo (galaxias difusas y tenues), y porque fui lo suficientemente honesto (y en retrospectiva, inconscientemente valiente) como para decirlo. (McGaugh, S. en López Sánchez (2017))

Nótese la crítica velada que hace a la academia: inicialmente fue "inconscientemente valiente" ya que, de hecho, es una inconsciencia ir en contra del paradigma en vigor en la academia: peligra el prestigio científico y, con él, la carrera científica y laboral, que en este caso van de la mano. Parece que salió bien, pero podía no haberlo hecho.

Sin embargo, esto no ha sido por casualidad. Como En un primer momento, McGaugh también buscó su "espacio de poder" y no reconoció que había utilizado infraestructuralmente los modelos de Milgrom, lo cual les llevó a una enemistad inicial:

"Esto fue pronosticado en el primer documento MOND de 1983", dice Milgrom. "La predicción de MOND es exactamente lo que McGaugh ha encontrado, desde el principio". Sin embargo, Milgrom no está contento de que McGaugh no haya atribuido abiertamente sus resultados a MOND, y sugiere que no hay nada intrínsecamente nuevo en este último estudio. "Los datos aquí son mucho mejores, lo cual es muy importante, pero esta es realmente la única novedad conceptual en el documento", dice Milgrom. McGaugh no está de acuerdo con la evaluación de Milgrom, diciendo que los resultados anteriores habían incorporado suposiciones que ajustan los datos para obtener el resultado deseado para MOND, mientras que esta vez la relación masa-luz es lo suficientemente precisa como para no requerir ajustes. (McGaugh, S. en Cooper (2016) - traducción propia)

Finalmente, como ya sabemos, MCGaugh reconoció que su trabajo estaba basado en la infraestructura aportada por Milgrom y a día de hoy parece que forman un frente común en el modelo MOND y en contra del modelo Λ CDM. Podríamos decir que se han reconciliado y han conformado la *comunidad* MOND.

En el marco teórico he hecho una aproximación al concepto de comunidad, cuestión muy relevante en el ámbito de la autodenominada "comunidad científica". En esta ocasión lo que me interesa señalar es que en esta controversia parece que se está generando un doble límite dentro de la comunidad.

El menos problemático, desde mi punto de vista, es que se crean comunidades dentro de comunidades, en este caso, por afinidades en torno al paradigma al que abraza cada investigador o profesional.

- Es una de esas personas de materia oscura, dijo Mordehai Milgrom sobre un colega que se detuvo en su oficina en el Instituto de Ciencias Weizmann. Milgrom nos lo

presentó, diciéndome que su amigo está buscando pruebas de la existencia de materia oscura en un proyecto que tiene lugar justo al final del pasillo.

- No hay "gente de materia oscura" y "gente de MOND", replicó su colega.

- Yo soy "gente MOND", proclamó Milgrom con orgullo.

(Milgrom, M. en Carmeli (2017) - Traducción propia)

Vemos que los límites son difusos: Milgrom, uno de los investigadores percibe ese límite como algo perfectamente trazado (y además parece que en un planteamiento dicotómico - Λ CDM vs MOND) mientras que el otro investigador no parece darle demasiada importancia y no traza esa línea.

Más problemático parece el límite que se traza entre la propia "comunidad científica" y quienes no pertenecen a la misma. Muy resumidamente, como hemos visto, la pertenencia a la comunidad científica en este caso requiere de un proceso doble: en primer lugar, de adquisición de conocimientos que permitan la entrada inicial a las instituciones y en segundo lugar, de relación y de prácticas situadas en las que se "aprende" a formar parte de una comunidad de práctica. Todo ello hace que se genere la representación simbólica de comunidad.

El problema es cuando una parte de la comunidad considera que otra parte de la comunidad está rompiendo una de las bases de la misma. McGaugh insinúa que los (físicos) teóricos están jugando sucio y parece que pretende excluirlos de la comunidad científica ya que lo que están haciendo puede no ser ciencia en un sentido estricto:

Por eso, los teóricos han estado moviendo los objetivos. Siempre pueden hacerlo, así que, ¿cómo decidimos que estamos errando el tiro? Si nos aburrimos de buscar WIMPs siempre podemos recuperar otra forma de materia oscura. Como los axiones. Si no esos, quizás la materia oscura caliente. Si esta tampoco, quizás podemos hablar de una materia oscura auto-interactiva. Y así sucesivamente, por los siglos de los siglos. Esto me hace plantearme la pregunta de si esto es realmente ciencia. (McGaugh en (López Sánchez, 2017))

Recordemos que para esta comunidad es muy importante seguir el "método científico" con un serie de pasos perfectamente pautados, cosa que en este caso McGaugh parece poner en duda ya que la modificación de la hipótesis "moviendo los objetivos" y evitando modificar la propia hipótesis, una vez asumido que se está "errando el tiro" y no considerando otros modelos (como el suyo propio) hace que se entre en terreno "acientífico".

Pero, recordemos también que McGaugh utilizó la infraestructura de un físico teórico como Milgrom (que también se saltó todos los estándares y procedimientos "aceptados") para experimentar con la nueva teoría MOND. Mucho me temo que el problema es

que esta vez el trabajo de estos teóricos no es infraestructural hacia el suyo.

Capítulo 5

Principales conclusiones y vías para continuar

En este trabajo he tratado de hacer un análisis de la controversia en torno a la materia oscura en el ámbito científico cosmológico contemporáneo desde dos de sus posiciones más importantes: los defensores del modelo Λ CDM y los defensores del modelo MOND.

Los agentes implicados en esta controversia, principalmente los partidarios del modelo minoritarios y crítico al paradigma actual, comienzan a poner sobre la mesa de debate no solo fórmulas matemáticas que encajan mejor o peor con los datos observacionales sino cuestionamientos más o menos profundos a los paradigmas, metodologías, instituciones y herramientas que se ven involucrados en el mantenimiento de ciertas teorías.

He tratado de exponer cómo los partidarios del paradigma MOND, contrarios al paradigma mayoritario Λ CDM han comenzado a abrir dichas cajas negras y cuestionan:

- En primer lugar, y como es evidente desde el título de este trabajo, la propia existencia de la materia oscura que forma un pilar básico del modelo cosmológico imperante en la actualidad.
- Ello deriva en serias dudas incluso en torno al propio paradigma de universo inflacionario con Big Bang, debido a que se ha realizado una extrapolación deductiva de que la física
- En planteamientos más concretos se cuestionan la implementación de las fórmulas

de Newton y, por extensión, las fórmulas de Einstein, que dan fundamento teórico al paradigma ya descrito.

- El arrinconamiento de modelos que cuestionan el paradigma debido a múltiples razones, entre las que destacan la diferencia de estatus asociado según se investigue en una u otra línea y los recursos y prestigio asociado a ciertas líneas de investigación.
- Las metodologías basadas en herramientas creadas "ad hoc" para producir datos y muy especialmente las simulaciones por ordenador, de las que dicen que implican ciertos paradigmas y llevan incluida parte de los resultados que se trata de obtener
- La propia concepción de ciencia con elementos no falsables y objetivos que se desplazan según intereses.
- Las instituciones académicas que silencian, cuando no asfixian, a concepciones innovadoras que van en contra del modelo imperante.

Desde un análisis antropológico, en esta primera aproximación mediante revisión documental he distinguido varios aspectos importantes:

- La importancia de los paradigmas como marcos referenciales concretos tanto teóricos como prácticos, en el marco de una episteme general, que producen diferentes mundos y que permiten o deniegan el uso de ciertas herramientas o su validación.
- La importancia de los procesos sociales de reconocimiento y prestigio y la lucha cotidiana por su consecución, al mismo tiempo que la importancia de los procesos sociales que permiten o deniegan el acceso a ciertas líneas de investigación, condicionando de este modo la realidad en la que vivimos.
- La importancia de lo que, siguiendo a Latour, he denominado proceso de "cajanegrización" y que tiene que ver con el cierre del debate y la asunción de que ciertas premisas, herramientas o desarrollos son correctos y no es necesario replantearlos.
- La importancia a la hora de elaborar teorías y modelos y desarrollar posteriormente investigaciones de lo que he denominado "infraestructura" tratando de dar cuenta de que cuando me refiero a 'ese concepto trato de aportar ese matiz que considero implícito de "cajanegrización" y que puede no ser autoevidente para un término tan

ampliamente utilizado en diferentes contextos. Esta infraestructura general consta de paradigmas (como he señalado más arriba), instituciones (como arena donde se produce la acción social de los agentes) y artefactos (como implementaciones materialesimbólicas de los dos anteriores).

- La importancia de lo que, siguiendo a Kuhn, he denominado una lucha entre dos paradigmas: el primero, mantiene la "ciencia normal" que continúa las investigaciones sobre aspectos concretos del paradigma imperante; los defensores del paradigma que lucha por emerger ven cosas diferentes porque el mundo en el que viven es diferente.
- La importancia de lo que Latour denominaba una confrontación entre ciencia acabada y ciencia en construcción.
- La importancia del análisis de controversia, en el que, como mostraban Shapin y Shaffer, obtenemos diferentes modos de presentar y representar la sociedad dentro del debate de la propia controversia al ser abiertas numerosas cajas negras.

También como última conclusión (aunque puede que sea algo diferente a una conclusión) me gustaría apuntar que, en demasiadas ocasiones, desde una visión cientifista, nos encontramos con llamamientos al optimismo, cuando no a la euforia tecnológica y en ciertas ocasiones incluso nos llegan a hacer creer que la tecnología solucionará todos los problemas que se presentan y presentarán. De nuevo, parece que la tecnociencia es un ente independiente de la acción humana. Suscribo las palabras de (Felt y col., 2017, p.11) cuando señala que

Para muchos, el estudio de Ciencia, Tecnología y Sociedad es y sigue siendo un antídoto necesario para las promesas excesivas expresadas en nombre de la ciencia y la tecnología por científicos, ingenieros, empresarios, líderes empresariales, políticos e incluso gente en general. (Traducción propia)

Vías para continuar

Como ya señalé en la introducción, considero este trabajo un primer paso necesario para continuar más adelante con la investigación en su forma más etnográfica, con observación participante en varios contextos. No me cabe duda de que el trabajo de campo traerá modificaciones y correcciones al presente trabajo, como apunta Díaz de Rada (2011)

Sin embargo, y antes incluso de situarme en el campo me han surgido líneas de investigación y preguntas que, por cuestiones de tiempo, de limitación en la extensión de la redacción y de la ausencia de trabajo de campo, creo que quedan pendientes para su tratamiento en las siguientes fases de la investigación.

Algunas de las que he ya identificado son:

- *Geografía política* de los centros de producción de conocimiento científico. Creo que hay que interrogarse sobre dónde se encuentran estos centros de poder científico, tanto geográficamente como por instituciones académicas.
- *Organización social y epistémica* del trabajo científico.
- Análisis de *artefactos e instrumentaciones* utilizadas en la práctica cotidiana de la labor científica.
- Análisis de los propios documentos como artefactos que incluyen referencias a los procesos sociales a través de los cuales han sido producidos.
- Análisis de los *estándares* aceptados y de cómo constriñen la producción al crear límites e imponer normas.
- Análisis desde la perspectiva de la *ciencia como profesión* en un sentido amplio.
- Análisis de los *portavoces* de las diferentes producciones científicas.
- Análisis de las implicaciones de la actividad científica en la creación de *políticas públicas*.

Creo que la forma más adecuada de continuar con esta investigación sería tratar de situarme en una situación de campo, en el que pueda realizar observación participante y utilizar herramientas como entrevistas semiestructuradas, grupos de discusión, etc.

Para ello, creo necesario realizar estancias en alguno de los laboratorios utilizados para la consolidación de cada una de los dos modelos en pugna. En el caso de los defensores de Λ CDM, sería interesante poder acceder a los laboratorios donde se trata de "detectar" dicha materia mediante experimentos, como el ya mencionado "Multidark" o similares. En el caso de los partidarios de MOND, creo que podría ser muy interesante,

además de tener acceso a los laboratorios (de los que desconozco casi todo), acceder a las fuentes y modos de recopilación de datos, desarrollo matemático y posterior verificación o descarte de los resultados.

Además, creo interesante asistir a ciertos congresos, como el realizado este curso 2018 "Kavli Institute for Teoretical Physics Conference: Dark matter detection and detectability: paradigm confirmation or shift?" en el que pueda posicionarme en ciertas situaciones de campo interesantes para la producción de datos relevantes para esta investigación.

También es posible que para una comprensión de los razonamientos que se exponen por ambas partes en la controversia tenga que realizar un esfuerzo extra para adquirir las competencias matemáticas y físicas. Al fin y al cabo, a pesar de ser "el extraño" en esta controversia, parece que el lenguaje principal de estas comunidades en ciertos niveles de discusión es el matemático.

Es decir: queda mucho por hacer.

Apéndice A

Diapositivas

Selección de diapositivas de Stacy McGaugh (Case Western Reserve University) durante su exposición explicando las ventajas de MOND frente a Λ CMD en la KITP¹ Conference: Dark matter detection and detectability: paradigm confirmation or shift? (Detección y detectabilidad de la materia oscura: confirmación o cambio de paradigma?)² celebrado entre el 30 de abril y 4 de mayo de 2018.

Accesibles en <http://online.kitp.ucsb.edu/online/cdm-c18/mcgaugh/>



Logotipo de las conferencias de la edición del año 2018. Nótese la carga conceptual del interrogante que envuelve las siglas de la Materia Oscura (Dark Matter).

¹ Kavli Institute for Theoretical Physics - University of California

² The search for dark matter—one of the pillars of current cosmological thought—has entered a new phase. Direct detection experiments have so far come up largely empty-handed, the largest particle accelerators have shown no convincing departures from the Standard Model, high-energy astrophysics has provided conflicting clues that have proved difficult to interpret, and kinematic measurements have signaled the possibility of a breakdown of the Lambda Cold Dark Matter paradigm on the scale of the smallest galaxies. These are all contentious issues where consensus has not yet been reached, but have encouraged discussion on whether the detection of dark matter might actually be beyond experimental reach, whether we should reevaluate search strategies, or perhaps, start considering theories, once heretical, which question the validity of general relativity. These are issues that appeal to theoretical physicists, particle astrophysicists, and astronomers alike. This conference aims to bring together these diverse communities to discuss the state of the art in dark matter searches and the health of the LCDM paradigm on the smallest scales.



Describe in single words only the good things that come into your mind about MOND.

Given the many compelling successes of the concordance cosmology, the various interlocking but distinct lines of evidence supporting it, and its basis in the highly successful theory of General Relativity, it seems quite unreasonable to doubt the existence of CDM.

Given the obvious organization of the data, the many predictive successes of MOND, and the inability of Λ CDM in many cases to make comparable predictions, it seems quite unreasonable to believe in the existence of invisible mass from beyond the Standard Model of particle physics that pervades the universe with nary a signal in the laboratory.

both quotes from McGaugh 2015, Canadian Journal of Physics, 93, 250

(A)

Predictions are suppose to keep us honest & objective

- A priori predictions ☆ Gold standard
- Must be so ☆ Silver
- Can be fit ☆ Bronze
- Just making stuff up ✨ too much freedom (e.g., epicycles)

The recognition and acknowledgement of anomalies result in crises that are a necessary precondition for the emergence of novel theories and for paradigm change.

- Thomas Kuhn

What counts as an anomaly in CDM?

(B)

Laws of Galactic Rotation

1. Flat Rotation Curves
2. Baryonic Tully-Fisher Relation
3. Sancisi's Law
4. Central Density Relation
5. Radial Acceleration Relation

Just the facts, mam.
Just the facts.



Empirically established regularities that need to be explained in any theory. These have all been known in some form or another for a long time, but only the first informed the development of the dark matter paradigm.

(C)

Why does MOND get so many predictions right?

This simply should not happen.

Imre Lakatos:
A research program is said to be progressing as long as its theoretical growth anticipates its empirical growth, that is as long as it keeps predicting novel facts with some success;
it is **stagnating** if its theoretical growth lags behind its empirical growth, that is as long as it gives only post-hoc explanations either of chance discoveries or of facts anticipated by, and discovered in, a rival program (Lakatos, 1971, pp. 104-105).

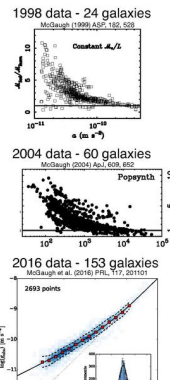
MOND qualifies as a "progressing program" by this standard.

Λ CDM can only give post-hoc explanations of facts anticipated by this "rival program." By this standard, it has stagnated.

(E)

5. Radial Acceleration Relation

Λ CDM



- 1983: ?
- 1997: NFW halos + baryons
- 1998: Beam smearing might have affected a few galaxies, so lets ignore inconvenient rotation curves.
- 2000: But we can explain it anyway. ✨
- 2005: "We don't have to explain MOND!" - Anatoly Klypin
- 2006: Slit misplacement might have affected a few galaxies, so lets ignore inconvenient rotation curves. - summary talk at KITP conference, Oct. 2006
- < A decade of deafening silence. >
- 2016: We can do that!
Well, sort of.
The model g_* found by Ludlow et al differs from the data by 70 sigma.

(D)

- MOND (Milgrom 1983)

Change force law at low acceleration $a_0 = 1.2 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-2}$

Newtonian regime
 $a = g_N$ for $a \gg a_0$
MOND regime
 $a = \sqrt{g_N a_0}$ for $a \ll a_0$

Regimes smoothly joined by an interpolation function

$$\mu\left(\frac{a}{a_0}\right) a = g_N$$

$$\mu(x) \rightarrow x \text{ for } x \ll 1$$

$$\mu(x) \rightarrow 1 \text{ for } x \gg 1$$

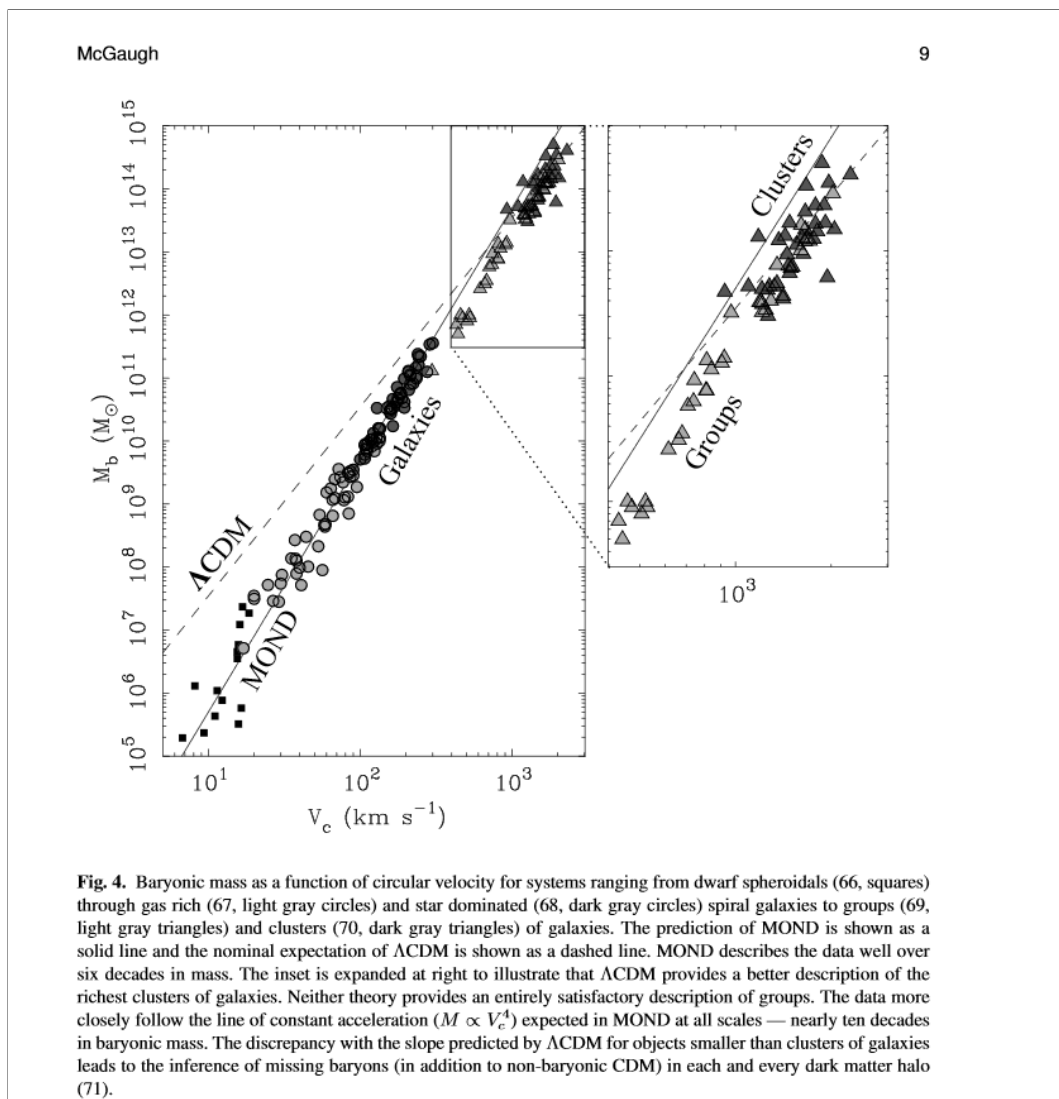


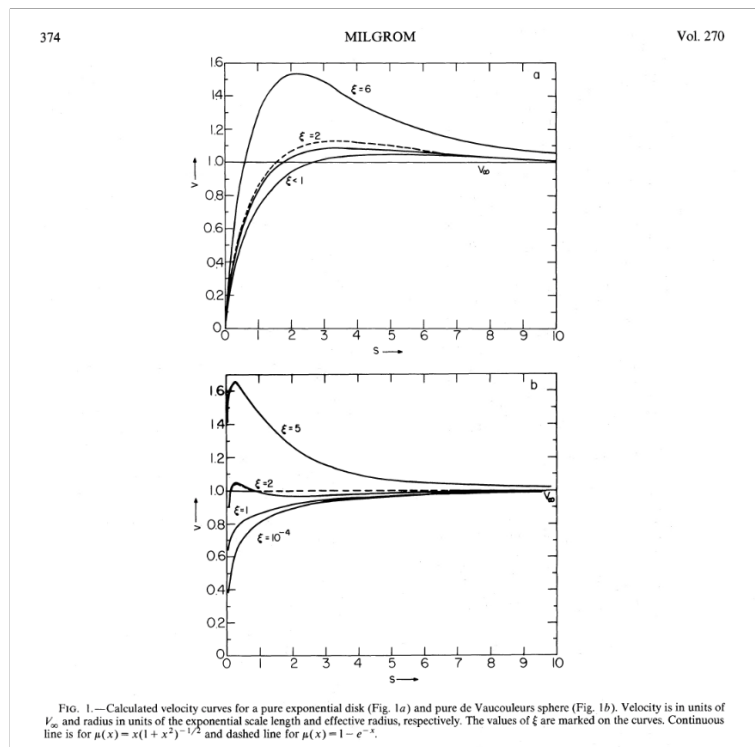
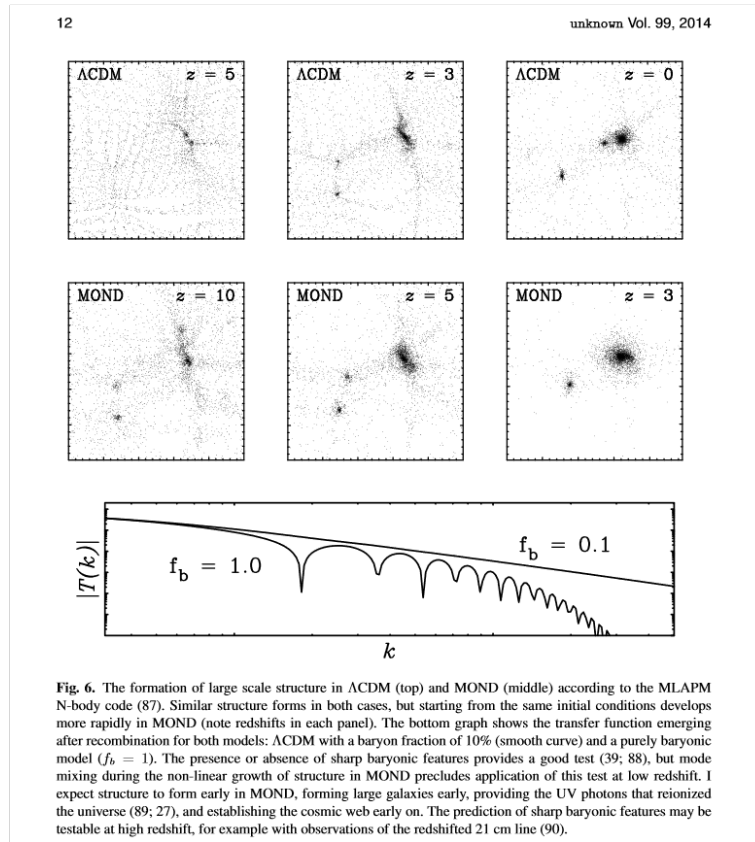
(F)

FIGURA A.-1: Algunas de las diapositivas en la presentación de Stacy McGaugh en la KITP Conference de 2018

Apéndice B

Inscripciones





Bibliografía

- Alemañ Berenguer, R. A. (2011). «Relatividad especial y teoría cuántica: ¿Son realmente compatibles?» En: *Thémata. Revista de Filosofía* 44, págs. 65-78.
- (s.f.). *La naturaleza imaginada. ¿Es matemático el mundo?* URSS. ISBN: 978-5-396-00667-6.
- Amit, V. (2002). *Realizing Community. Concepts, social relations and sentiments*. Ed. por V. Amit. Londres y Nueva York: Routledge.
- Arana, J. (2016). «La naturaleza imaginada. ¿Es matemático el mundo?» En: *Naturaleza y libertad* 6, págs. 225-231.
- Arana, J. y col. (2011). *La cosmología en el siglo XXI: entre la física y la filosofía*. Tarragona: Publicaciones URV.
- Asimov, I. (2007). *Guía de la tierra y del espacio*. Barcelona: Ariel.
- Barad, K. (2007). *Meeting the Universe Half Way; Quantum physics and the entanglement of matter and meaning*. Durham & London: Duke University Press.
- Barfield, T., ed. (2000). *Diccionario de Antropología*. Barcelona: Bellaterra.
- Barnes, B. (1987). *Sobre ciencia*. Barcelona: Labor.
- Barrow, J. D. (2013). *Teorías del todo*. Madrid: Planeta.
- Belmonte Avilés, J. A. (2006). «De la arqueoastronomía a la astronomía cultural». En: *Boletín de SEA* 15, págs. 23-40.
- (2009). «La Arqueoastronomía en Europa : la singularidad del caso español». En: *Complutum* 20.2, págs. 55-67. ISSN: 1131-6993.
- Belmonte Avilés, J. A. y B. Avilés (s.f.). «La Arqueoastronomía y su potencial educativo». En: *publicaciones de NASE, Instituto de Astrofísica de Canarias*.
- Berenguer, M. (s.f.). «¿ Tiempo real ? Camino de ida y vuelta entre lo cerrado y lo abierto». En:
- Bernardeau, F., C. Grojean y J. Dalibard (2007). *Particle Physics and Cosmology: the Fabric of Spacetime: Lecture Notes of the Les Houches Summer School 2006*. Ed. por F. Bernardeau, C. Grojean y J. Dalibard. Les Houches. Oxford: Elsevier Science.
- Bernardeau, F., C. Grojean y J. Dalibard, eds. (2006). *Particle Physics and Cosmology: the Fabric of Spacetime*. Amsterdam: Elsevier.
- Bollnow, O. (1961). «Lived-Space». En: *Philosophy Today* 1.4, págs. 31-39.
- Bonte, P. y M. Izard (1997). *Diccionario Akal de etnología y antropología*. Madrid: Akal.

- Bourdieu, P. (1994). «El campo científico». En: *Revista Redes* 24.7, págs. 130-160.
- (2004). *El oficio de científico. Ciencia de la ciencia y reflexividad*. Vol. 1. Barcelona: Anagrama, págs. 221-225.
- Bryson, B. (2010). *Una breve historia de casi todo*. Barcelona: RBA.
- Bunge, M. (1978). *La ciencia: su método y su filosofía*. Siglo XXI.
- Cañedo, M. (2013). «La ciudad medicalizada: epidemias, doctores y barrios bajos en el Madrid moderno». En: *Journal of Spanish Cultural Studies* 13.4, págs. 372-407.
- Calcagni, G. (2017). *Classical and Quantum Cosmology*. Switzerland: Springer.
- Capra, F. (1984). *El Tao de la Física. Una exploración de los paralelos entre la física moderna y el misticismo oriental*. Madrid: Luis Cárcamo.
- Carmeli, O. (2017). *The physicist who denies that dark matter exists*. URL: <http://cosmos.nautil.us/short/144/the-physicist-who-denies-that-dark-matter-exists>.
- Carrillo Trueba, C. (1997). «La divulgación de la ciencia en un mundo fragmentado». En: *Ciencias* 46, págs. 60-65.
- (2006). *Pluriverso. Un ensayo sobre el conocimiento indígena contemporáneo*. México DF: Universidad Autónoma de México.
- Cepa, J. (2007). *Cosmología Física*. Akal/Astronomía. Madrid: Akal. ISBN: 9788446025337.
- Cerda Escobar, F. (2016). «Wenu-kimun. El saber del cielo». Tesis doct. Universidad de Chile, pág. 163. URL: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/143254/wenu-kimun.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Clifford, J. y G. E. Marcus (1986). *Writing culture : the poetics and politics of ethnography : a School of America Research Advanced Seminar*, pág. 305. ISBN: 0520056523. URL: http://catalog.ub.edu/record=b1084673~S1*cat.
- Cohen, A. (1985). *The symbolic construction of community*. Londres: Routledge.
- Cooper, K. (2016). *Correlation between galaxy rotation and visible matter puzzles astronomers*. URL: <https://physicsworld.com/a/correlation-between-galaxy-rotation-and-visible-matter-puzzles-astronomers/>.
- Cornejo Valle, M. (2017). «El origen del cosmos en las religiones. De las aguas primordiales a Matrix.» En: *Fronteras de la ciencia* 1.1, págs. 26-35.
- Cornelius, G. y P. Devereux (2003). *El lenguaje de las estrellas y los planetas*. Barcelona: Blume.
- Coward, D. M., P. R. R. Burman y D. G. Blair (2018). «The stochastic background of gravitational waves from neutron star formation at cosmological distances». En: 1022.June, págs. 1015-1022.
- Descola, P. (2012). *Más allá de la naturaleza y de la cultura*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Díaz De Rada, A. (2010). *Cultura, antropología y otras tonterías*. Madrid: Trotta.
- Díaz de Rada, A. (2011). *El taller del etnógrafo, materiales y herramientas de investigación en Etnografía*. Madrid: UNED.

- Díaz De Rada, A. y H. M. Velasco Maillo (2006). *La lógica de la investigación etnográfica. Un modelo de trabajo para etnógrafos de escuela*. Madrid: Trotta.
- Domínguez, N. (2016). *Una teoría de la gravedad que cuestiona a Einstein pasa su primera prueba experimental*. URL: https://elpais.com/elpais/2016/12/21/ciencia/1482345722_637965.html.
- Durand, L. (2002). «La relación ambiente-cultura en antropología: recuento y perspectivas». En: *Nueva Antropología* XVIII.61, págs. 169-184.
- Ellis, G. F. R. y R. Maartens (2004). «The emergent universe: Inflationary cosmology with no singularity». En: *Classical and Quantum Gravity* 21.1, págs. 223-232. ISSN: 02649381. DOI: 10.1088/0264-9381/21/1/015. URL: <http://stacks.iop.org/0264-9381/21/i=1/a=015>.
- Fabian, J. (2002). *Time and the other: How Anthropology Makes Its Object*. New York: Columbia University Press.
- Falcón, N. (2010). *La Cosmología del Siglo XXI. Revisión crítica del Big Bang y la Dinámica del Universo Observable*. Caracas: Cosmografica C.A. ISBN: 978-980-12-4385-4.
- Felt, U. y col. (2017). *The Handbook of Science and Technology Studies, Fourth Edition*. ISBN: 9780262035682.
- Fernández Zubieta, A. (2009). «El constructivismo social en la ciencia y la tecnología: las consecuencias no previstas de la ambivalencia epistemológica». En: *Arbor* CLXXXV, págs. 689-703. DOI: 10.3989/arbor.2009.738n1046.
- Fischer, M. M. (2007). «Four genealogies for a recombinant anthropology of science and technology». En: *Cultural Anthropology* 22.4, págs. 539-615.
- Foucault, M. (1968). *Las palabras y las cosas. Una arqueología de las ciencias humanas*. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores Argentina.
- (1970). *La arqueología del saber*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Fraknoi, A., D. Morrison y S. C. Wolff (2017). *Astronomy*. Houston: Rice University.
- Galadí-Enríquez, D. y J. Gutiérrez (2001). *Astronomía general. Teórica y práctica*. Barcelona: Omega.
- Gamow, G. (1993). *La creación del universo*. Barcelona: RBA Editores.
- Geertz, C. (2003). *La interpretación de las culturas*. Barcelona: Gedisa.
- Giménez Benítez, S. y C. Gómez, eds. (2016). *Primera Escuela Interamericana de Astronomía Cultural*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Gribbin, J. (1988). *En busca del Big Bang*. Madrid: Pirámide.
- (2011). *Biografía del universo*. Barcelona: Crítica.
- Habermas, J. (1986). *Ciencia y técnica como ideología*. Madrid: Tecnos.
- (1990). *Conocimiento e interés*. Buenos Aires: Taurus.
- Haraway, D. (1988). «Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective». En: *Feminist Studies*. ISSN: 00463663. DOI: 10.2307/3178066. arXiv: 9809069v1 [gr-qc].

- Haraway, D. J. (1985). «A cyborg manifiesto». En: *Socialist Review* 80.
- (1995). *Ciencia, cyborgs y mujeres. La reinención de la naturaleza*. Madrid: Cátedra.
- Hawking, S. (1988). *Historia del tiempo. Del Big Bang a los agujeros negros*. Barcelona: Crítica.
- Hawking, S. y L. Mlodinow (2010). *El gran diseño*. Barcelona: Crítica.
- (2015). *Brevísima historia del tiempo*. Barcelona: Crítica.
- Hess, D. (1997). *Science Studies: An Advanced Introduction*. New York: New York University Press. ISBN: 0814735649.
- Hidalgo, C. y A. Stagnaro (2016). «Antropología de la Ciencia y la Tecnología». En: *Cuadernos de Antropología Social* 43, págs. 9-16.
- Hormigo, T. (2007). *Las medidas del universo*. Valencia: Museo y ciencia.
- INGOLD, T. (2014). «That's enough about ethnography!» En: *HAU: Journal of Ethnographic Theory* 4.1, págs. 383-395. ISSN: 2575-1433. DOI: 10.14318/hau4.1.021. URL: <http://www.haujournal.org/index.php/hau/article/view/hau4.1.021%20https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.14318/hau4.1.021>.
- Ingold, T. (1992). «Culture and the perception of the environment». En: *Bush Base, Forest Farm: Culture, Environment, and Development*. Ed. por Elisabeth Croll y David Parkin. London: Routledge, pág. 288.
- (2000). *The perception of the environment : essays on livelihood, dwelling & skill*. Routledge. ISBN: 9780415228329.
- (2014). «Anthropology and Philosophy or the Problem of Ontological Symmetry». En: *La Clé des Langues*. URL: <http://cle.ens-lyon.fr/mode-d-emploi/anthropology-and-philosophy-or-the-problem-of-ontological-symmetry-222062.kjsp>.
- Ingold, T. y col. (2001). *Naturaleza y sociedad. Perspectivas antropológicas*. Ed. por P. Descola y G. Pálsson. Siglo XXI.
- Iwanieszewki, S. (2009). «Por una astronomía cultural renovada». En: *Complutum* 20.2, págs. 23-37.
- Jaime, H. (2009). «Ideosemántica de la inteligibilidad del Universo». En: *Mar Oceana* 25, págs. 31-63.
- Jasanoff, S. y col. (1995). *Handbook of science and technology studies*. London: Sage.
- Knorr, K. (2005). *La fabricación del conocimiento. Un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes. URL: <http://www.unq.edu.ar>.
- Koiré, A. (1999). *Del mundo cerrado al universo infinito*. Madrid: Siglo XXI.
- Kroupa, P. (2012). *The dark matter crisis: Falsification of the current standard model of cosmology*. DOI: 10.1071/AS12005.
- Kuhn, T. S. (1996). *La revolución Copernicana. La astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*. Barcelona: Ariel.

- Kuhn, T. S. (2004). *La estructura de las revoluciones científicas*. Mexico D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Latour, B. (1992). *Ciencia en acción. Cómo seguir a los científicos e ingenieros a través de la sociedad*. Barcelona: Labor.
- (1993). *The Pasteurization of France*. Cambridge: Harvard University Press.
- (2001). *La esperanza de Pandora. Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. Barcelona: Gedisa.
- (2007). *Nunca fuimos modernos. Ensayo de antropología simétrica*. Avellaneda: Siglo XXI.
- (2008). *Reensamblar lo social. Una introducción a la teoría del actor-red*. Buenos Aires: Manantial.
- (s.f.). «¿El cosmos de quién? ¿Qué cosmopolítica? Comentarios sobre los términos de paz de Ulrich Beck». En: URL: <http://www.bruno-latour.fr/sites/default/files/downloads/92-BECK-COSMOPOL-SPANISH.pdf>.
- Lave, J. y E. Wenger (1991). *Situated Learning. Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lisón Tolosana, C. (2007). «Ciencia y razón antropológica». En: *Introducción a la antropología social y cultural*. Ed. por C. Lisón Tolosana. Móstoles: Akal. Cap. XXIV, págs. 591-612.
- López Sánchez, G. (2017). *Stacy McGaugh: «La materia oscura pierde por goleada ante el principio de la navaja de Occam»*. URL: http://www.abc.es/ciencia/abci-stacy-mcgaugh-materia-oscura-pierde-goleada-ante-principio-navaja-occam-201711270345_noticia.html.
- López, A. M. (2011). «Ethnoastronomy as an academic field: A framework for a South American program». En: *Proceedings of the International Astronomical Union*.
- López, A. y S. Giménez Benítez (2010). «Los cielos de la humanidad ¿Qué es la astronomía cultural?» En: *Ciencia hoy* 20.116, págs. 17-22.
- Maeder, A. (2017). «An alternative to the LCDM model: the case of scale invariance». En: ISSN: 1538-4357. DOI: 10.3847/1538-4357/834/2/194.
- Mairal Buil, G. (2007). «Culturas de riesgo. Antropología para una sociedad científica y tecnológica». En: *Introducción a la antropología social y cultural*. Ed. por C. Lisón Tolosana. Móstoles: Akal. Cap. XIII, págs. 319-337.
- Massimi, M. (2018). *Three problems about multi-scale modelling in cosmology*. DOI: 10.1016/j.shpsb.2018.04.002.
- McGaugh, S. S. (2014). «A Tale of Two Paradigms: the Mutual Incommensurability of LCDM and MOND». En: ISSN: 0008-4204. DOI: 10.1139/cjcp-2014-0203.
- McGaugh, S. S., F. Lelli y J. M. Schombert (2016). «The Radial Acceleration Relation in Rotationally Supported Galaxies». En:
- McGaugh, S. (s.f.). *Triton Station. A Blog About the Science and Sociology of Cosmology and Dark Matter*. URL: <https://tritonstation.wordpress.com/>.

- Mcgrane, B. (1992). «Beyond Anthropology: Society and the Other». En: *SYSTEMS PRACTICE* 5.1, págs. 102-114.
- Medina, E. (1982). «Teorías y orientaciones de la sociología de la ciencia». En: *Revista Española de Investigaciones Sociológicas* 20, págs. 7-58.
- (1983). «La polémica internalismo / externalismo en la historia y la sociología de la ciencia». En: *Revista Española de Investigaciones Sociológicas* 23, págs. 53-75.
- Milgrom, M. (1983a). «A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis». En: *The Astrophysical Journal* 270, págs. 365-370.
- (1983b). «A modification of the Newtonian dynamics - Implications for galaxies». En: *The Astrophysical Journal*.
- (2010). «MD or DM? Modified dynamics at low accelerations vs dark matter». En: *Proceedings of Science*.
- Mitchell, T. (2002). *Rule of experts. Egypt, Techno-Politics, Modernity*. Los Angeles: University of California Press.
- Moffat, J. W. (2017). «Stochastic Gravity and Self-Organized Critical Cosmology». En: *Very High Energy Phenomena in the Universe of the XXXII*, págs. 1-8. arXiv: 9703032v2 [gr-qc]. URL: <https://arxiv.org/pdf/gr-qc/9703032.pdf>.
- Moncy V., J., C. Sivakumar y J. K Babu (2003). «Classical stochastic approach to cosmology revisited». En: *PRAMANA — journal of physics* 60.1, págs. 1-10. URL: <https://www.ias.ac.in/article/fulltext/pram/060/01/0001-0010>.
- Moreira, M. A. (2009). «El modelo Estandar de la fisica de particulas». En: *Revista Brasileira de Enseñanza de Física* 1.1, págs. 1-16. URL: www.if.ufrgs.br/~moreira.
- National Research Council y col. (2001). *Astronomy and Astrophysics in the New Millennium*. Washington D.C.: National Academy Press. URL: <http://www.nap.edu/catalog/9839.html>.
- Norris, R. P. (2009). «SpS5: ACCELERATING THE RATE OF ASTRONOMICAL DISCOVERY». En: *Highlights of Astronomy XXVIIIth IAU General Assembly* 14.
- North, J. (2001). *Historia Fontana de la Astronomía y la Cosmología*. Mexico D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Ordóñez, J. (2003). *Ciencia, tecnología e historia*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Orosz, J. A. y col. (2002). «Dynamical evidence for a black hole in the microquasar XTE J1550-564 1». En: *The Astrophysical Journal* 568, págs. 845-861.
- Parsons, K. (2003). *The Science Wars: Debating Scientific Knowledge and Technology*. Ed. por K. Parsons. New York: Prometheus Books.
- Pérez Haristoy, R. (2012). «La importancia del estudio arqueoastronómico en la construcción del paisaje del Mundo Antiguo». En: *Revista de Historia y Geografía* 27, págs. 143-152.
- Rabinow, P. (1992). «Studies in the anthropology of reason». En: *Anthropology Today* 8.5, págs. 7-10.

- Rabinow, P. (2003). *Anthropos today : reflections on modern equipment*. New Jersey: Princeton University Press, pág. 159. ISBN: 9781400825905.
- Ramírez Goicoechea, E. (2011). *Etnicidad, identidad, interculturalidad. Teorías, conceptos y procesos de la relacionalidad grupal humana*. Madrid: Ramón Areces.
- (2013). *Antropología Biosocial. Biología, cultura y sociedad*. Madrid: Ramón Areces.
- Rioja, A. (1992). «La filosofía de la complementariedad y la descripción objetiva de la naturaleza». En: *Revista de Filosofía. 3ra época*. vol. V.no. 8, págs. 257-282.
- (1995). «La dualidad onda-corpúsculo en la filosofía de Max Born». En: *Thémata* 14, págs. 251-284.
- Rioja, A. y J. Ordoñez (2014a). *Teorías del universo I: De los pitagóricos a Galileo*. Madrid: Síntesis.
- (2014b). *Teorías del universo II: De Galileo a Newton*. Madrid: Síntesis.
- (2014c). *Teorías del universo III: De Newton a Hubble*. Madrid: Síntesis.
- Rodas Quito Enrique, E. (2011). «Arqueoastronomía y Astronomía Cultural, sus campos de acción y aplicación en Honduras -Conceptos». En: *Revista de ciencias espaciales* 4.2.
- Román, M. T. (2004). *Sabidurías orientales de la antigüedad*. Madrid: Alianza.
- Rosenberg, M. y col. (2014). «Astronomy in everyday life». En: *Communicating Astronomy to the Public Journal* 14, págs. 30-36.
- Ruggles, C. (2009). «Indigenous Astronomies and Progress in Modern Astronomy». En: *Highlights of Astronomy XXVIIth IAU General Assembly* 14.
- Sánchez Ron, J. M. (1995). «Las filosofías de los creadores de la mecánica cuántica». En: *Thémata* 14, págs. 197-221.
- Sanguineti, J. J. (1979). «La unidad y multiplicidad del universo». En: *Anuario Filosófico* 12.2, págs. 135-170.
- (1980). «Unidad humana y unidad del cosmos». En: *Anuario Filosófico* 13.2, págs. 163-171.
- (1983). «La verdad como adecuación en el idealismo y el realismo». En: *Anuario Filosófico* 16, págs. 159-167.
- (1995). «Algunos aspectos de la filosofía de los cosmólogos contemporáneos». En: *Thémata* 14, págs. 285-304.
- Sellés, M. (2005). «Los instrumentos y su contexto. El caso de la marina española en el siglo XVIII». En: *ÉNDOXA* 19, págs. 137-158.
- (2007). *Introducción a la historia de la cosmología*. Madrid: UNED.
- Shapin, S. y S. Schaffer (2005). *El Leviathan y la bomba de vacío. Hobbes, Boyle y la vida experimental*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Sismondo, S. (2010). *An Introduction to Science and Technology Studies*. Singapore: Wiley-Blackwell.
- (2018). «Models, Simulations, and Their Objects». En: *Science in Context* 12.2, págs. 247-260. DOI: 10.1017/S0269889700003409.
- Solís, C. y M. Sellés (2015). *Historia de la ciencia*. Barcelona: Espasa.

- Sousa Santos, B. d. (2011). «Epistemologías del sur». En: *Utopía y praxis latinoamericana* 54, págs. 17-39.
- Stacy McGaugh (2015). *Dark Matter or Modified Gravity?* URL: <https://www.youtube.com/watch?v=C0oZQpQbFx4>.
- Téllez, M. (1998). «La episteme moderna: lectura desde Michel Foucault». En: *Apuntes Filosóficos* 12, págs. 85-105.
- Torres Arzayús, S. (1999). *Exploremos el Universo*. URL: http://astroverada.com/_/Main/B_bigbang.html.
- Unsöld, A. y B. Baschek (2001). *The New Cosmos: An Introduction to Astronomy and Astrophysics*. Physics and astronomy online library. New York: Springer.
- Velasco Maillo, H. M. (2003). *Hablar y pensar, tareas culturales*. Madrid: UNED.
- (2007). *Cuerpo y espacio. Símbolos y metáforas, representación y expresividad en las culturas*. Madrid: Ramón Areces.
- Verlinde, E. (2011). «On the origin of gravity and the laws of Newton». En: *Journal of High Energy Physics*. DOI: 10.1007/JHEP04(2011)029.
- Viveiros de Castro, E. (2010). *Metafísicas caníbales*. Buenos Aires: Katz.
- (s.f.). «Perspectivismo y multinaturalismo en la América indígena». En:
- Wenger, E. (2001). *Comunidades de práctica: aprendizaje, significado e identidad*. Barcelona: Paidós.
- Winsberg, E. (2009). «Computer Simulation and the Philosophy of Science.» En: *Philosophy Compass* 4.5, págs. 835-845.
- Wittgenstein, L. (1988). *Sobre la certeza*. Barcelona: Gedisa.
- Zorzano, J. (2008a). *I-El Modelo Standard. Pilares básicos de la Cosmología*. Inf. téc. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. URL: <http://faii.etsii.upm.es/dfaii/Docencia/Material%20Docente/Introduccci%C3%B3n%20a%20la%20Cosmolog%C3%ADa%20I/I-ModeloStandard%20v1.pdf>.
- (2008b). *II-Desplazamiento hacia el rojo (Redshift). Ley de Hubble y expansión del Universo*. Inf. téc. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. URL: <http://faii.etsii.upm.es/dfaii/Docencia/Material%20Docente/Introduccci%C3%B3n%20a%20la%20Cosmolog%C3%ADa%20I/II-Ley%20de%20Hubble%20v1.pdf>.
- (2008c). *III-Ecuaciones Básicas*. Inf. téc. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. URL: <http://www.faii.etsii.upm.es/dfaii/Docencia/Material%20Docente/III-Ecuaciones%20b%C3%A1sicas.pdf>.