

El modelo cosmológico estándar: veredicto al post-modernismo

Sergio Torres Arzayús

Febrero 28, 2010

Por 300 años el prestigioso podio de la Universidad de Cambridge ha sido reservado cada año para personalidades académicas de alto calibre que son invitados a dar una charla dentro de la famosa serie de conferencias Rede. Hace 50 años Charles Percy Snow, un físico alumno de Rutherford y convertido en escritor, fue el catedrático invitado a dar la conferencia y usó esa ocasión para emitir un lánguido quejido en contra de los científicos por alejarse de las humanidades y en contra de los humanistas por alejarse de la ciencia. En su lamento, la ignorancia del concepto de entropía por parte del literato era equiparable a la ofensa cometida por los científicos que no leen a Charles Dickens. Lo que atormentaba a Snow, más que el indecoroso comportamiento del científico en las reuniones de intelectuales de la época, era la indiferencia o inclusive el desprecio que los humanistas manifestaban por la ciencia. 50 años después de esa sobria evaluación y 400 años después del despertar cósmico impulsado por Galileo cabe preguntarnos cuál es el estado actual de la relación entre “las dos culturas”. Dar una respuesta comprensiva e imparcial, sin embargo, presenta retos formidables ya que la interacción entre las ciencias y las humanidades no ocurre en el vacío. Existe un trasfondo cultural en el que las influencias personales y sociales van dando forma a la manera como los diferentes grupos sociales perciben la ciencia y sus relaciones con otros ámbitos del conocimiento. La tarea se hace más compleja si consideramos que la controversia sobre el significado del conocimiento científico es parte del gran debate filosófico de 2 400 años sobre si es posible y sobre cómo adquirir conocimiento certero del mundo externo. No obstante la mencionada problemática que entreteje el discurso epistemológico, proponemos explorar el tema de las dos culturas a través de la lente de la cosmología científica¹. Afirmar que la cosmología constituye un medio idóneo para abordar el espinoso tema es justificable no solamente por ser ésta una ciencia aun en formación sino también porque la cosmología naturalmente traslapa ámbitos del conocimiento humano que pertenecen a las dos culturas. Por primera vez en la historia el ser humano ha podido desarrollar una cosmología científica basada en observaciones astronómicas y con la cual se comienza a dar respuestas a las preguntas fundamentales sobre el origen y evolución del universo y dentro de este sobre nuestro origen y lugar en el cosmos. El desarrollo del modelo cosmológico estándar refleja muy nítidamente el proceso que lleva a la gestación de una teoría científica, incluyendo los factores sociales y las influencias de índole cultural. Por las razones expuestas queda claro que la cosmología moderna ofrece una oportunidad invaluable para evaluar las tesis del post-modernismo.

¹ Cosmología en su significado más amplio es materia de estudio de los antropólogos. En este ensayo nos referimos a una noción más restringida de la cosmología: los estudios científicos acerca del origen y evolución del universo en su totalidad.

Las Tesis del Post-Modernismo

El modernismo es la idea impulsada en la era de la ilustración en el S. XVIII que acentúa el predominio de la razón humana y de la ciencia, y la creencia en el progreso humano; que la ciencia es objetiva y libre de valores; que la ciencia provee un método universal para encontrar la verdad en contraposición a las creencias sin base racionalista. En ese ambiente filosófico floreció la ciencia que recibimos a la entrada del S. XX. En contraste, la cosmología científica del siglo XX se gestó durante los años en que surgen las tesis del post-modernismo caracterizadas por la negación del modernismo (*Nous n'avons jamais été modernes*, Bruno Latour, 1993), el rechazo a la búsqueda de leyes universales, de explicaciones hegemónicas absolutistas, de reclamos de objetividad y de las pretensiones imperialistas del conocimiento científico. Los sociólogos y filósofos de la ciencia estudian cómo se elaboran teorías y cuáles son las bases que le permiten al conocimiento científico reclamar validez. ¿Qué significa que una teoría científica es “verdadera”? ¿Cómo se establece la veracidad de una teoría? ¿Qué factores hacen que una teoría científica sea aceptada por la comunidad? Esas preguntas sintetizan la preocupación principal que ha guiado los estudios de la ciencia en los últimos 80 años. De Popper a Sokal han surgido un sinnúmero de propuestas y contra propuestas para tratar de demarcar la ciencia y explicar cómo opera. Sería imposible hacer un cubrimiento comprensivo del vasto panorama de estudios sociales de la ciencia en el contexto de estas páginas, sin embargo es lícito intentar hacer una síntesis de las ideas más importantes en la sociología de la ciencia para poder contrastarlas con el ejemplo, vivo y reciente, de la cosmología científica. El espeso clima de rivalidad entre los cosmólogos, sus fuertes personalidades y la influencia del ambiente filosófico del momento constituyen una riquísima fuente de información para probar las tesis de la sociología de la ciencia.

La aparición del libro de Thomas Kuhn *La estructura de las revoluciones científicas* (1962) fue un hito de proporciones históricas que marcó el punto de partida de toda una serie de críticas al modelo científico clásico y a los reclamos de superioridad de la ciencia. La chispa inicial impartida por Kuhn impulsó la filosofía post-modernista haciendo que ganara un auge significativo entre los intelectuales académicos de los años 1960 - 1980. En este ambiente emerge una visión crítica del quehacer científico que termina socavando el pedestal de superioridad epistémica que los científicos reclaman y que justifica en gran medida la posición privilegiada con la que se perciben las teorías científicas. Con Popper quedó establecido un criterio de demarcación basado en la posibilidad de falsificar una teoría. Si bien la claridad conceptual de la propuesta de Popper facilitó la rápida adopción de ese criterio por parte de los practicantes de la ciencia, la propuesta no corrió con igual suerte dentro de los círculos de filósofos y sociólogos que rápidamente señalaron (Willard Van Orman Quine, 1951) la tendencia de los teóricos a ajustar sus teorías en vez de rechazarlas ante datos experimentales adversos. Kuhn, quien fue un físico teórico antes de pasar a la historia y la sociología, emprendió estudios de historia de la ciencia en los que se dio cuenta que ésta progresa en dos modos, uno “normal” consistente en las contribuciones prosaicas de los investigadores en su tarea diaria pero siempre enjaulados en el paradigma de turno, y por otro lado estarían los cambios revolucionarios (o cambios de paradigma) en los cuales las ideas fundamentales de una teoría se tienen que descartar y ser remplazadas por ideas completamente nuevas. Kuhn cita el caso de la revolución copernicana que dio al trasto con 2 000 años del modelo

cosmológico tolemaico-aristotélico. En la dinámica de los cambios conceptuales revolucionarios abogados por Kuhn se habla de la “incomensurabilidad” de conceptos que se sufre entre teorías pertenecientes al nuevo y al viejo paradigma. En otras palabras, si pudiéramos traer vivos a Galileo y a Einstein en este momento y colocarlos en el mismo salón a hablar entre ellos sería imposible para Galileo entender los conceptos de espacio y tiempo desarrollados por Einstein. Otro físico teórico que cruzó la frontera fue Andrew Pickering. En sus andanzas como físico de partículas se dio cuenta de la arbitrariedad con la que unos modelos de partículas se imponían sobre otros y la manera como factores ajenos a los méritos intrínsecos de una teoría puede influenciar la aceptación o no de la misma. Pickering propone (*Constructing quarks*, 1984) que una teoría científica es una construcción social, es decir que la aceptación de una teoría por un grupo obedece a fuerzas de naturaleza social. Este es el germen de una idea que viene a ser examinada y avanzada por varios grupos de sociólogos de la ciencia resultando en una amplia gama de posiciones difícil de resumir aquí. Para nuestro propósito es suficiente con identificar los puntos más salientes y que mayor influencia han ejercido en estudios de la ciencia. Revisar la historia de todas las ciencias bajo la óptica del constructivismo social se convirtió en una industria generadora de artículos y libros titulados “construcción social de x”, donde x es cualquier cosa (Ian Hacking). Decir que las teorías científicas son una construcción social es una afirmación aparentemente inocua (difícil sería no aceptar que la ciencia es una empresa humana) excepto que conlleva implicaciones de gran calibre, una de las cuales sería que no existe diferencia entre la ciencia, la religión, las profecías de un oráculo incierto, los curativos cuánticos, o cualquier otra cosmovisión ya que al fin de cuentas todas estas son construcciones sociales. Según esta interpretación extremista, rotulada “todo vale” y promovida vigorosamente por algunos académicos (*Against Method*, Feyerabend, 1975), cada grupo tiene su propia cosmovisión y es imposible e impráctico distinguir entre una cosmovisión válida o verdadera y otra falsa. No todos los sociólogos adoptan una posición extrema, pero entre las corrientes post-modernas sí existe un común denominador en el que se distinguen las siguientes afirmaciones con respecto a la ciencia: (1) la ciencia no es libre de valores, no es neutral ni objetiva, incorpora juicios no lógicos, es susceptible a influencias ideológicas y sesgos personales; (2) los experimentos están al servicio de la teoría – todo resultado experimental necesita una interpretación bajo la luz de una teoría; (3) la ciencia no es la única manera de aproximarse a la naturaleza, (4) el conocimiento científico no es progresivo – es decir el conocimiento acumulado no garantiza que nos estemos aproximando a la realidad; y (5) no existe el proverbial “método científico”. En lo que sigue nos referiremos a estos cinco (“las tesis del post modernismo”) usando la nomenclatura T1, T2,... Examinar cómo llegamos al modelo cosmológico estándar es una valiosa lección que revela la complicada interacción entre los innumerables factores que hacen que una teoría científica emerja y sea aceptada por la comunidad científica. Cabe preguntarse si las tesis T1-T5 son consistentes con lo que ocurrió en la cosmología: en el caso del intenso debate entre las dos teorías en contienda, el big bang y el “estado estacionario”, de acuerdo con las tesis de la sociología de la ciencia ¿cuál de las dos alternativas se esperaría que hubiera germinado? Nótese cómo el resultado que se obtenga de ésta pregunta constituye un veredicto – en el sentido popperiano – a las tesis del post-modernismo.

Hechos Históricos que Influenciaron el Desarrollo del Modelo Cosmológico Estándar

El modelo cosmológico estándar se gestó en un periodo de 50 años demarcado por las fechas que van desde la publicación de la teoría general de la relatividad (1915) hasta el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo (1964) y la medición de su espectro (1967). Fueron 50 años de ardiente controversia entre dos alternativas que compitieron intensamente por ganarse su aceptación por parte de la comunidad científica. Como ocurre en las competencias deportivas, unos pierden otros ganan y la historia recontada por los perdedores es muy distinta que la de los ganadores. En el caso del big bang nos encontramos con una idea que progresa y gana adeptos a pesar de no contar con un ambiente favorable, comenzando por el mismo Einstein que desde un principio se opuso a la idea de un universo dinámico. Sin embargo fue Einstein con su teoría de la gravedad – conocida entre los físicos como la teoría general de la relatividad – quien nos entregó la llave para entrar al estudio del universo en su totalidad. En 1917 poco tiempo después de publicada su teoría, Einstein junto con el astrónomo Willem de Sitter de Holanda se ocuparon de aplicarla para construir un modelo del universo. El intento no les funcionó porque, influenciados por conceptos fuertemente arraigados, ellos sólo buscaron soluciones estáticas a pesar de que las ecuaciones en frente a ellos clamaban por una solución dinámica. Einstein y de Sitter fácilmente hubieran podido descubrir el big bang, pero la elusiva idea les pasó de frente para resurgir repetidamente sin lograr por mucho tiempo que alguien la tomara en serio. Efectivamente, ¡el big bang fue reinventado cuatro veces! La primera fue por el ruso Alexandre Friedmann quien en 1922 encontró soluciones a las ecuaciones de la relatividad general en las cuales el espacio en su totalidad sufre una expansión en el tiempo. El pobre Friedmann murió tres años después de que sus cálculos fueran publicados sin saber que su predicción de la expansión del espacio fuera comprobada cuatro años más tarde cuando Hubble y Humason observan el movimiento de recesión de las galaxias. Friedmann, olvidado por todos, muere enfermo de neumonía sin saborear la gloria de su monumental contribución al avance de la cosmología. Inicialmente Einstein rechazó la conclusión de la expansión del universo y se desinteresó por estos cálculos. La segunda aparición del big bang ocurre cuando el sacerdote belga Georges Lemaitre se sumerge en la teoría de Einstein y se encuentra con la ineludible realidad matemática subyacente en las ecuaciones de la relatividad. Sus hallazgos quedaron registrados en un artículo publicado en 1927 en una revista técnica oscura que nadie leyó. En ocasión de una pasantía a Cambridge para trabajar con el entonces famoso astrofísico Arthur Eddington, Lemaitre le llevó una copia de su artículo a Eddington, pero él no se interesó por el asunto y dejó el artículo abandonado acumulando polvo. La idea de Lemaitre de un universo que se originó de un “átomo primigenio” que luego se expande no encontró resonancia entre los astrónomos que en su mayoría no poseían las habilidades matemáticas que se requerían para digerir los cálculos relativistas. Para muchos, tanto físicos como astrónomos, los trabajos de Friedmann y Lemaitre no eran otra cosa que un sofisticado ejercicio matemático. Además, ¡ningún cosmólogo quería acercarse a una teoría sobre el origen del universo propuesta por un teólogo! La situación comienza a ponerse interesante cuando un boxeador, entrenador de baloncesto, profesor de español, graduado en jurisprudencia y veterano de la primera guerra mundial le dio por observar el universo con el telescopio más potente que existía en el momento, el reflector de 100 pulgadas de Monte Wilson. Se trata de Edwin Hubble y de sus

escandalosos descubrimientos que demostraron que las galaxias eran sistemas estelares separados e independientes de nuestra propia galaxia y que el universo se está expandiendo. Hubble emprende las mediciones de la expansión con la idea de extender las observaciones de Humason que comenzaban a revelar la tendencia de los espectros de galaxias lejanas de exhibir desplazamientos hacia el rojo. Los resultados de la investigación de Hubble, anunciados al mundo en 1929, demostraron que existe una relación entre el desplazamiento rojo en los espectros y la distancia. Los astrónomos interpretaron el desplazamiento rojo como un producto del movimiento de recesión de las galaxias lo cual implica que el universo está en expansión (todas las galaxias se están alejando entre sí). En el reporte de Hubble se presentan los resultados experimentales escuetos, con una alusión marginal a la posibilidad de que los desplazamientos rojos observados pudiesen ser explicados por lo que él llamó el “efecto de Sitter” refiriéndose al modelo cosmológico de de Sitter que predecía desplazamientos rojos, pero no debidos al movimiento de expansión sino a efectos puramente gravitacionales. Es importante anotar que Hubble no diseñó sus observaciones con el expreso objetivo de probar el big bang, de hecho él se enteró de las ideas de Friedmann y Lemaitre en 1930, después de concluir sus mediciones de la expansión, cuando leyó un artículo de divulgación escrito por Eddington. Uno pensaría que con la observación del universo en expansión la teoría del big bang se fortalecería. Todo lo contrario: con la velocidad de expansión determinada por Hubble la edad del universo resultaba menor que la edad de la Tierra, una inconsistencia que frenó el posible entusiasmo de los pocos investigadores que trabajaban en cosmología. Irónicamente, el hallazgo de Hubble fortaleció el modelo alternativo de Hoyle que niega el big bang. Fred Hoyle, un astrofísico de Cambridge igual de testarudo que de brillante, se le ocurrió en 1948 junto con sus dos colegas, Thomas Gold y Hermann Bondi, armar un nuevo modelo del universo que incorpora las observaciones de expansión de Hubble pero evita la necesidad de un punto singular donde el universo tiene origen en el tiempo. Desde el punto de vista teórico este modelo es más elegante y placentero porque evita la singularidad en el tiempo que rompe una simetría fundamental. En el modelo estacionario de Hoyle la densidad del universo en promedio es siempre la misma y el movimiento de recesión de las galaxias sería explicado postulando la existencia de un campo mágico llamado “campo-C” que genera materia espontáneamente inyectándola en medio del espacio y así induciendo el movimiento de recesión de las galaxias. En su posición como director del Instituto de Astronomía Teórica de Cambridge y luego como director del comité de astronomía del Science Research Council Hoyle podía influenciar las decisiones sobre qué proyectos de investigación recibirían apoyo. Con las desdichas del big bang suscitadas por la estrepitosa inconsistencia de la edad del universo, el fracaso en explicar la abundancia de elementos (más allá del helio) y la incómoda asociación con ideologías percibidas como adjetivas a la ciencia positiva (Lemaitre era un teólogo) durante la década de 1950 el ambiente no era favorable para el big bang. Por ejemplo, el congreso de Solvay de 1958 dedicado al tema de la estructura y evolución del universo fue organizado por los ingleses, pero Gamow, una de las figuras más importantes en el tema del congreso, no fue invitado. Gamow perdió interés en la cosmología y comenzó a trabajar en genética con James Watson el descubridor del ADN. Entre tanto el modelo estacionario de Hoyle, Gold y Bondi a pesar del apoyo de los teóricos que rodeaban a Hoyle comenzó a recibir un fuerte ataque por parte de los radio astrónomos que midieron la densidad de radio fuentes y la manera como esta cambia con la profundidad del sondeo. Según el modelo de Hoyle la densidad promedio del universo es constante, pero esta predicción no concordaba con los datos de Martin Ryle, también de Cambridge, quien reportó que sus observaciones de radiofuentes muestran que

en el pasado el universo era más denso, contrario a lo que predijo el modelo estacionario pero consistente con el big bang. Resultó que esas primeras observaciones de Ryle estaban plagadas de problemas, la conclusión por lo tanto no se podía mantener y al final los datos de Ryle – supuestamente apoyando al big bang – cayeron en desprestigio. Luego vino otro intento, también con problemas, y luego otro. Por fin al cuarto intento, los conteos de radio-galaxias de Ryle en combinación con observaciones independientes por John Bolton en California dieron resultados conclusivos en contra de la teoría de Hoyle. Pero él nunca los aceptó y veía en Ryle la encarnación de un complot diseñado para aniquilar su teoría. El agrio resentimiento de Hoyle hacia Ryle se manifiesta en las frecuentes vociferaciones que deja salir inclusive en foros profesionales, como la siguiente: “...Ryle tenía la idea de que por medio de un conteo de radiofuentes podía rechazar el modelo estacionario. Su programa, que persiguió agresivamente por muchos años, no parecía que tuviera otro objetivo. Él no estaba interesado en una investigación honesta por la cosmología correcta, sino más bien en rechazar el trabajo de su colega de la misma universidad, una situación que nunca esperaba fuera recibida con los ardientes aplausos que la comunidad científica le brindó” (Hoyle 1990). La mezquindad del debate le restó seriedad al tema de la cosmología y seguramente alejó a potenciales investigadores.

La tercera reaparición del big bang se le presentó a un físico nuclear mientras trabajaba el “problema del helio” en el universo. Con los estudios de espectroscopia estelar los astrónomos lograron establecer para el comienzo de la década de 1920 que el universo está compuesto en su mayoría por hidrógeno (75%) y helio (25%). El físico ruso George Gamow, propuso que los elementos químicos se sintetizaron en una etapa caliente y densa del universo, es decir en el big bang. En 1948 salió publicado el trabajo de Gamow con uno de sus estudiantes, Ralph Alpher, y por broma la lista de autores incluía a Hans Bethe para que rimara con las tres primeras letras del alfabeto griego (α, β, γ = Alpher, Bethe, Gamow). A pesar de que Gamow y compañía lograron predecir correctamente la abundancia de helio, su teoría fue criticada porque se demostró que no podía explicar la aparición de elementos más pesados que el helio (excepto por unas trazas de litio e hidrogeno pesado). Para los críticos la inhabilidad de predecir la abundancia de los elementos en el universo más allá del helio fue una razón más para desconfiar del big bang. Sin embargo, una ironía de proporciones históricas descomunales fue que ¡el mismo Hoyle ofreció la solución que salvó el big bang! Hoyle, en compañía de otros tres investigadores desarrolló la teoría de núcleo síntesis estelar que explicó la aparición de los elementos más pesados que el helio. Por este trabajo le dieron el premio Nobel en 1983 a William Fowler, mas no a Hoyle.

Ralph Alpher, el estudiante de Gamow en la universidad de George Washington, emprendió un cálculo más detallado de núcleo síntesis en el big bang con su colega Robert Herman del cual resultó la predicción de la radiación cósmica de fondo. Esta sería la energía electromagnética remanente de la etapa caliente y densa del universo durante los primeros instantes del universo cuando este era una sopa de quarks, electrones y protones. El artículo con la predicción salió publicado en 1948 pero desafortunadamente nadie le prestó atención a esta predicción, ni siquiera el mismo Gamow quien al enterarse criticó a Alpher diciendo que esta radiación nunca sería detectada por que se confundiría con la radiación de fondo de la luz emitida por todas las galaxias. Sabemos que más adelante el mismo Gamow escribió varios artículos donde también predijo la radiación cósmica de fondo. Los cálculos de Alpher y Herman indicaban que la radiación del big bang es emisión térmica de cinco grados Kelvin que

hoy debería aparecer en la parte del espectro electromagnético de las microondas y por lo tanto sería posible detectar con la tecnología disponible en el momento. El fondo de ruido electromagnético predicho por Alpher y Herman puede ser detectado con una simple antena de micro ondas dotada de amplificadores de bajo ruido. Con el desarrollo del radar durante la segunda guerra mundial esta tecnología estaba al alcance de los radio astrónomos. En 1932 Karl Jansky descubrió un ruido de fondo de origen celeste con una antena experimental sintonizada a las frecuencias que hoy se usan para radio FM. Jansky pudo determinar que el ruido era originado en la galaxia. Una variante de este experimento hubiera podido detectar la radiación de fondo en los años 1940-1950, pero no hubo suficiente interés por el tema y el descubrimiento del siglo tuvo que esperar 30 años más para salir del escondite. Martin Ryle, quien fuera un conocedor de las tecnologías disponibles para radio astronomía desde sus comienzos, estimó que si hubiera existido el empeño de los astrónomos el descubrimiento de la radiación de fondo hubiera ocurrido una década antes (Benford 2005). Por otro lado, Robert Dicke, como parte de su trabajo en radar durante la segunda guerra mundial, ya había desarrollado radiómetros de microondas con los cuales su hubiera podido descubrir la radiación de fondo en 1946. Desilusionados Alpher y Herman abandonaron la academia – obviamente la cosmología también – y se fueron a trabajar en el sector privado. Quizá la más estrepitosa muestra de desinterés por el big bang se manifestó con el hecho de que cuando Alpher y Herman hicieron la predicción de la radiación de fondo, ésta ya había sido observada en varias ocasiones! empero en ese entonces no se reconoció como tal y los astrónomos no se interesaron por buscarla. En 1935-1939 Adams y Dunham (Thaddeus 1972) trabajando en el análisis espectral de las ondas de radio emitidas por nubes de gas interestelar observaron líneas de emisión del radical cianuro (CN) que revelaron la existencia de un fondo de radiación de 2.3 grados Kelvin responsable de la excitación de las moléculas de CN. El radio astrónomo ruso T. Shmaonov (Novikov 2009) el francés P. Le Roux y el americano W. K. Rose (Herman 1997) cada uno de forma independiente hicieron mediciones de la radiación de fondo antes que Penzias y Wilson. Parece que los cosmólogos no estaban interesados por el big bang de lo contrario hubieran reconocido en la predicción de la radiación de fondo la oportunidad clave para rechazar el modelo alternativo de Hoyle (en el cual no cabe la radiación de fondo) y reforzar el big bang. El descubrimiento de la radiación de fondo ocurrió accidentalmente en 1964 mientras los radio astrónomos Arno Penzias y Robert Wilson hacían pruebas de una antena que había sido usada para estudios de ruido atmosférico en telecomunicaciones. El par de radio astrónomos no tenía interés en inmiscuirse en el turbio ambiente de los cosmólogos y si los experimentos son esclavos de la teoría (tesis T2) Wilson estaría más interesado en obtener resultados que favorecen al modelo estacionario: “...yo había estado en CalTech cuando Hoyle estuvo de visita, y personalmente prefiero la teoría de estado estacionario por sus sólidas bases teóricas” (Wilson 1997). La historia del descubrimiento de la radiación del big bang ha sido contada con lujo de detalles (Peebles, Page 2009), basta con anotar que efectivamente Penzias y Wilson detectaron un fondo de ruido de microondas correspondiente a una temperatura de 2.7 grados Kelvin que provenía de una fuente extra galáctica. La antena pertenecía a los laboratorios de la empresa de teléfonos Bell en New Jersey a pocos kilómetros de la Universidad de Princeton donde el físico Robert Dicke había reinventado el big bang por cuarta vez y alistaba un radiómetro para medir la radiación de fondo que él también había predicho. Aparentemente Dicke y sus colegas de Princeton no sabían que Gamow, Alpher y Herman habían predicho la radiación de fondo. En menos de dos años después de la detección se pudo establecer con mediciones independientes que dicha radiación exhibe un espectro compatible con la

forma térmica que se había predicho originalmente. En 1970 el físico Jim Peebles (*Physical cosmology*), del grupo de Dicke en Princeton, hizo una síntesis del modelo cosmológico del big bang incorporando el mecanismo de formación de estructuras de galaxias y sentando así las bases para los desarrollos futuros que sirvieron para establecer el modelo cosmológico estándar hoy aceptado por la gran mayoría de cosmólogos.

Para 1955 la “crisis de edad” del universo en el big bang fue resuelta cuando el astrónomo Walter Baade descubrió la presencia de dos tipos de estrellas variables (de las cuales depende la medición de distancias galácticas). También por esos años se logró obtener mapas de radiofuentes de mayor precisión que eran consistentes con el big bang. Estos avances sumados al descubrimiento de la radiación de fondo constituyeron para varios cosmólogos razón suficiente para abandonar el modelo estacionario. Denise Sciamia, un influyente colega y fuerte aliado de Hoyle, declaró en público su decisión de cambiar de lados. Otros cosmólogos que trabajaron en el modelo estacionario, como Gold y Bondi, simplemente se separaron de Hoyle y de la cosmología en búsqueda de proyectos de investigación menos especulativos y propensos al bochorno. Empero, Hoyle con su reducido sequito nunca aceptó el big bang y hasta el final se mantuvo fabricando variantes al modelo estacionario para acomodar los datos que comenzaron a surgir cada vez con mayor frecuencia. La memoria de Hoyle es mantenida al día de hoy por un grupúsculo, cada vez más marginal y virulento, encabezado por el astrónomo Halton Arp – en su época un respetado investigador – que niega el big bang. Arp atribuye el desplazamiento rojo a fenómenos físicos que ocurren dentro de las mismas galaxias, es decir propiedades intrínsecas del emisor que nada tienen que ver con su estado de movimiento y por lo tanto no existe la expansión del universo (Arp 1992). Dentro de la práctica “normal” de la ciencia este tipo de críticas se bandean a nivel técnico dentro de los mismos investigadores, pero Arp escogió declarar su inconformidad con el big bang en foro público y esgrimiendo argumentos de poco valor científico. La cosmología estándar es coherente y consistente con un gran número de datos experimentales que abarcan observaciones desde el micro cosmos hasta el fondo del universo, sin embargo tiene puntos débiles y está bien que quienes niegan el *big bang* critiquen aspectos de la teoría trayendo argumentos y observaciones de calidad. El problema con Arp y sus admiradores es que no presentan una alternativa bien armada y viable pero sí andan dispersando acusaciones frívolas en contra de los investigadores que publican en revistas académicas de prestigio. Presentan fotos interesantes que pueden ser fuente legítima de descubrimientos de valor, pero con ellas quieren injustificadamente desbaratar el *big bang* de un tajo y se ofenden cuando sus argumentos no convencen a la mayoría de astrónomos. Quieren tumbar el *big bang* con un dardo de papel. Esto sería como si el plomero le dice que tiene que tumbar su casa porque hay una gotera en el sótano. En sus colegas científicos que no aceptan sus teorías ven enemigos por todo lugar y pregonan que la comunidad científica es dogmática y que opera como la inquisición obligados a censurar teorías alternativas. Para ellos los científicos que trabajan en el *big bang* son un grupo de fanáticos deshonestos fieles a la doctrina oficial y empeñados en suprimir la verdad². Es una lástima porque esas acusaciones en contra de la comunidad científica terminan generando su

² Arp y sus amigos dejaron relucir su resentimiento en carta abierta publicada en una revista popular donde acusan a todo el mundo que no piensa como ellos de una conspiración universal que está ocultando la verdad y engañando con la doctrina oficial evangelizadora del big bang: “An open letter to the scientific community”, H. Arp, et. al. New Scientist, May 22, 2004, <http://www.cosmologystatement.org/>

rechazo y éste a su turno alimenta la percepción de persecución. Estos individuos se lamentan porque las agencias que financian la investigación científica supuestamente no apoyan ideas que se desvíen apenas un ápice de la ortodoxia —como si los otros gozaran de prodigiosas sumas de financiación. Exponiendo ruidosamente su posición anti *big bang* terminan atrayendo a su flanco toda una serie de exóticos individuos y grupos impulsados por motivaciones ideológicas que restan seriedad a su trabajo. Tienen hasta su propia revista caracterizada por artículos escritos por individuos de dudosas credenciales académicas y de cuestionable seriedad profesional, a juzgar por el uso indiscriminado de citas que apuntan a iluminadas fuentes de información como Wikipedia.

Las Tesis del Post-Modernismo Confrontan la Cosmología Moderna

Según las tesis de la sociología de la ciencia (T1 – T5) y examinando los hechos que rodearon el desarrollo del modelo cosmológico estándar sería el modelo estacionario de Hoyle, mas no el big bang, el modelo que terminaría imponiéndose. Lo que nos muestra la historia es que el big bang no era la teoría esperada y deseada por la comunidad científica, fue rechazada por los grandes pensadores del momento, no se acomodaba a los venerados principios teóricos de simetría y la predicción que pondría en prueba el modelo fue ignorada por 30 años. Nadie quería la idea del big bang, sin embargo esta aparecía una y otra vez como maleza que se resiste a morir. Con T1 uno esperaría que una teoría florece cuando satisface las expectativas de la comunidad, en otras palabras la teoría aceptada es aquella que la comunidad “quería” y estaba preparada para recibir. Pero en el caso de la cosmología los hechos históricos se contraponen violentamente: la comunidad quería una teoría con fundamentos matemáticos sólidos que respetara las simetrías fundamentales, sin embargo el modelo de big bang con su escandalosa singularidad espantó a los cosmólogos. Los arquitectos del big bang (Alpher, Herman 1988) se lamentan de haber sido víctimas del rechazo y de la apatía por parte de sus colegas físicos (que no consideraban a la cosmología como un campo legítimo de investigación) y por parte de los astrónomos (que no consideraban a los físicos nucleares como “miembros del club”).

Influencia de tendencias filosóficas sí la hubo, pero en contravía de lo esperado según T1. Para Popper comprobar que una teoría es “válida” no es posible, lo importante para decidir si una teoría es científica es si ésta se puede someter a pruebas que la rechacen. Guiados por criterios popperianos los astrónomos en vez de perseguir la radiación de fondo se metieron en la disputa de las radio fuentes que le costó un retraso de 30 años al avance de la cosmología. Desde el punto de vista científico, perseguir la radiación cósmica de fondo tenía mucho más valor que el experimento de las radio fuentes, ya que su detección daría pie para rechazar el modelo estacionario y al mismo tiempo dar soporte al big bang, pero este último objetivo no tiene valor en un esquema popperiano. Por esa época los criterios de *falsibilidad* propuestos por Popper eran vistos con gran estima entre los cosmólogos. Bondi y Gold se jactaban de haber creado una teoría que es falseable (Bondi era amigo y admiraba a su compatriota Popper) y señalan que el big bang no es una teoría buena porque no es falseable puesto que cualquier observación del pasado del universo que no se ajuste al modelo se le puede atribuir a efectos de “evolución galáctica” (Bondi 1990). Hoyle declara que el big bang “es un proceso irracional que no se puede describir en términos científicos” (Hoyle 1950, p. 113).

Otro aspecto importante de T1 es explorar la influencia de ideologías en el desarrollo de la cosmología moderna. El tema cobra mayor relevancia en el caso de la cosmología ya que por siglos enteros las ideologías dominantes han adoptado un modelo cosmológico. En la Unión Soviética la filosofía oficial del sistema – el materialismo dialéctico – no toleraba el trabajo de investigación en la teoría del big bang por no alinearse con la ideología marxista. Por mandato el universo tenía que ser eterno, sin principio ni evolución (Novikov 2009), sin embargo Y.B. Zel'dovich – uno de los grandes cosmólogos del siglo pasado – se convirtió en un ardiente seguidor del big bang cuando se enteró de la detección de la radiación cósmica de fondo. Con I.D. Novikov y A.G. Doroshkevich se interesaron por el big bang e inclusive exhortaron a los radio astrónomos (antes del descubrimiento accidental por Penzias y Wilson) para que buscaran la radiación de fondo y señalaron que la antena de Laboratorios Bell (con la que Penzias y Wilson hicieron el descubrimiento accidental!) sería un instrumento adecuado. En el occidente si en algo influyó la ideología fue en reducir el apetito de los teóricos por el big bang: una propuesta elaborada por un teólogo y que explícitamente reclama la necesidad de un acto de creación. En 1952 el papa Pio XII anunció que la cosmología del big bang afirma la noción de un creador trascendente y está en armonía con el dogma Cristiano. Es incalculable el daño que estas palabras le causaron a la cosmología del big bang: es natural esperar que cualquier científico que se respete se va a distanciar de una teoría que tenga esta connotación ideológica. En resumen, de acuerdo con T1 la ideología estaría a favor del modelo estacionario y fuertemente en contra del big bang, sin embargo fue el big bang el modelo que al final fue aceptado por la comunidad científica.

En cuanto a T2 (los experimentos están al servicio de la teoría), se esperaría que los promotores del big bang hubieran perseguido agresivamente la detección de la radiación cósmica de fondo predicha por Alpher y Herman. Desde el momento en que se hizo la predicción (1948) era clarísimo para los teóricos que esta observación significaría el *requiescant in pace* inmediato para el modelo de Hoyle y al mismo tiempo un soporte significativo al big bang, pero los astrónomos no se interesaron por hacer la medición. Alpher y Herman se retiraron de la cosmología y cuando el descubrimiento finalmente se realizó, 30 años más tarde, éste ocurrió accidentalmente: Penzias y Wilson no estaban empeñados en probar el big bang, si la teoría hubiera ejercido influencia sobre la manera como se realizó este experimento, ésta sería para apoyar la teoría de Hoyle que era la preferencia de Wilson. La detección de la radiación de fondo no fue planeada dentro del marco de una teoría. Igual se puede decir del descubrimiento de la expansión: Hubble era un astrónomo que se preocupaba por la precisión de sus observaciones más que por la interpretación. En sus publicaciones, la implicación teórica de sus observaciones ocupó un lugar marginal. Hubble no estaba enterado del big bang cuando descubrió la expansión y la única mención que aparece en su artículo con referencia a posibles interpretaciones teóricas es la alusión que hizo al “efecto de Sitter” (que sería contrario al big bang). Los estudios espectroscópicos realizados durante más de tres décadas antes de 1925 proveyeron el tercer pilar empírico del big bang (las abundancias relativas de los elementos ligeros en el universo) totalmente aislados de los desarrollos teóricos de los cosmólogos. Con esto, la relevancia de T2 queda fuertemente cuestionada.

T4 sugiere que el conocimiento científico no nos aproxima a la realidad externa, lo cual es imposible probar porque la realidad externa no está a nuestro alcance (solo nuestra experiencia de ésta). El proceso científico sin embargo nos muestra que sí existe una convergencia de las observaciones hacia

realidades empíricas estables e incontrovertibles. Nótese que dije incontrovertibles no irrefutables (existen ejemplos de hechos empíricos firmemente establecidos que luego se demostraron erróneos). Decir que podemos aceptar la existencia de realidades empíricas incontrovertibles no implica que se está afirmando la tesis aristotélica hipotético-deductiva (positivismo lógico) según la cual el conocimiento científico se construye a partir de primeros principios que por necesidad son verdaderos. Burdamente, la historia de la astronomía es la historia de cómo observaciones al borde de la sensibilidad de los instrumentos fueron más adelante juzgadas como espurias o se establecieron como realidades empíricas incontrovertibles. Hace 400 años Galileo apuntó su telescopio a la Luna y dibujó cráteres que al comienzo muchos no aceptaron dada la posibilidad de atribuir la observación de irregularidades en la superficie de la luna a efectos ópticos del aparato o a fuentes atmosféricas. Cuando se perfeccionó la tecnología de telescopios nadie negaba la presencia de cráteres en la luna. 400 años después de las observaciones de Galileo, Buzz Aldrin pisó los cráteres de la luna con sus propios pies. Este ejemplo sirve para ilustrar el proceso de acercamiento hacia la naturaleza que se logra con el avance de las tecnologías que permiten hacer mediciones cada vez de mayor fidelidad. Como éste existen varios ejemplos en cosmología. La medición de la rapidez de expansión (que determina la edad del universo) realizada por Hubble padecía de errores (incorrecta calibración de la relación período-luminosidad de las estrellas variables) pero una vez corregido este error se repitieron las mediciones por grupos independientes y usando una amplia gama de tecnologías cada vez más precisa. Mediciones recientes reportan la edad del universo con un error de apenas el 1 por ciento (Dunkley et al. 2009). A este resultado se llegó después de un arduo camino que se demoró 80 años por recorrer y en el cual se lograron obtener 538 mediciones de la constante de Hubble usando 26 métodos diferentes de medición de distancia. El gran debate entre Curtis y Shapley (1920) sobre la naturaleza de las nebulosas espirales (sobre si estos objetos astronómicos forman parte de nuestra galaxia o si son sistemas estelares independientes que residen fuera de nuestra galaxia) mortificó a los astrónomos por varios años debido a las limitaciones de las observaciones astronómicas que en esa época no tenían el poder necesario para desnudar a las nebulosas, pero tan pronto Hubble usó el potente telescopio de Monte Wilson la solución se hizo evidente. Hubble logró estimar la distancia a Andrómeda en 900.000 años-luz, una medición con un error alto pero suficiente para dismantelar la propuesta de Shapley y elevar el modelo de “universos isla” en el que las nebulosas espirales son galaxias enteras que yacen fuera de nuestra propia galaxia. Desde ese entonces la medición de la distancia a Andrómeda se ha repetido muchas veces y con altísima precisión. Una medición reciente usando métodos más “directos” obtiene 2,5 millones de años-luz. Al día de hoy nadie reta el concepto moderno de galaxia, sin embargo durante el período de gestación del concepto las ideas eran inciertas, el debate intenso y los datos insuficientes. Empero, lo que inicialmente es una controversia – en gran parte debido a la incertidumbre de las observaciones – se convierte en una realidad empírica incontrovertible. Con el descubrimiento de la radiación de fondo por Penzias y Wilson los cosmólogos se vieron motivados a tomarse el modelo del big bag con mayor seriedad, pero se contemplaron mecanismos alternativos que también podían producir la radiación de fondo detectada por Penzias y Wilson. Hasta no obtener la forma del espectro de esa radiación para comprobar que es consistente con un espectro térmico el caso a favor del big bang quedaba inconcluso. Desde 1964 hasta 1970 la tarea de los radio astrónomos fue justamente verificar la forma del espectro de la radiación de fondo. Como siempre, la tecnología no era adecuada al comienzo pero lentamente los resultados fueron convergiendo hasta el punto que los cosmólogos se convencieron

de que las propiedades de la radiación observada eran las propiedades predichas por el modelo del big bang. Las mediciones del espectro realizadas por COBE desde el espacio obtuvieron datos del espectro con impresionante precisión. La temperatura de la radiación de fondo medida por COBE se reporta con errores de una milésima de grado Kelvin: 2.725 ± 0.001 grados Kelvin.

Con los datos arrojados por observaciones extra-galácticas se esperaba que el criterio de falsación de Popper hubiera evitado la controversia entre el big bang y la alternativa propuesta por el modelo estacionario. Pero no fue así como sucedió, los datos experimentales – por lo menos cuando se obtienen al borde de sensibilidad de los aparatos – no siempre entregan un resultado directo y confiable. Hubiera sido un error rechazar el big bang con la “crisis de edad” o rechazar el modelo estacionario con las mediciones de radio-fuentes de Ryle, ya que en los dos casos los datos estaban plagados de errores. Otro suceso que parece contribuir al descrédito de la propuesta de Popper es que cuando las observaciones por fin lograron converger a resultados incontrovertibles en contra del modelo de estado estacionario algunos de sus proponentes prefirieron ajustar el modelo antes que rechazarlo. Curioso ver que sin rubor alguno los seguidores de Hoyle no dudaron en acudir a la práctica de “ajustar el modelo” (i.e. el modelo de cuasi-estado estacionario de Narlikar) mientras que al mismo tiempo invalidaban el big bang porque – según ellos – se podía ajustar arbitrariamente.

En cuanto a T5 (no existe el proverbial método científico) parece que es la única tesis que sí refleja algo de la actividad científica. La historia de la cosmología moderna nos muestra que el desarrollo de una teoría no es algo que sucede de una manera higiénica y lineal siguiendo los pasos de una receta o método científico. Al contrario, la cosmología nos ofrece un ejemplo vivo de las complicaciones y la confluencia de factores sociales que terminan dando forma a una teoría científica. Personalidades fuertes, egos inflados, rivalidades, seducción de la fama, intolerancia y manejo de los medios de comunicación son ejemplos del entorno social que acompaña la actividad científica. Una ironía descomunal, que muestra dramáticamente cómo la ciencia no progresa linealmente ni sigue un método aséptico, es que el trabajo más importante de Hoyle es el haber resuelto el problema que bloqueaba el modelo del *big bang*. Hoyle descubrió una propiedad importante del elemento carbono que le permite explicar la producción de los elementos químicos más allá del hidrógeno en reacciones que ocurren en las estrellas. Con este trabajo queda resuelto el problema de explicar la abundancia de los elementos químicos más allá del helio.

Tanto el big bang como el modelo estacionario y sus variantes son producto de la imaginación. Con Einstein diríamos que “las teorías científicas son libres invenciones de la imaginación...”. Pero, también con Einstein, tendríamos que añadir que no todas las invenciones de la mente son iguales y que un buen científico debe estar dispuesto a renunciar a su creación cuando los datos así lo obligan. El papel que juega la imaginación en la actividad de crear teorías científicas es algo que no es considerado parte del “método científico” tradicional. Giordano Bruno (1600) imaginó el universo compuesto por una multitud de mundos como el nuestro; Kant elaboró un modelo del universo donde existen sistemas galácticos dispersos por el espacio; E. A. Poe desarrolló en 1848 una conjetura sobre el universo sorprendentemente cercana al big bang de los años 1930s. En su poema en prosa *Eureka*, Poe propone – con base en argumentos místicos y fuera de la práctica común del científico -- un modelo del origen del universo a partir de un átomo primordial del cual emana energía de radiación que se expande en el

espacio. ¿Se pueden considerar como científicas las ideas de Poe, Kant y Bruno? Inicialmente tendríamos que responder con un sí, ¿Acaso no fue la relatividad de Einstein una idea igualmente especulativa y fantástica cuando él la propuso? Sin embargo, para dar una respuesta congruente tendríamos que examinar porqué algunas ideas igualmente fantásticas y propuestas por practicantes de la ciencia fueron rechazadas. ¿Por qué hoy no se enseña en clase de ciencia las teorías del calórico, el flogisto, el éter luminífero y los epiciclos tolemaicos? La respuesta a esta pregunta encierra un poderoso mensaje que señala nítidamente que – a pesar de las interferencias intrínsecas del quehacer humano – la ciencia sí soporta un proceso de convergencia hacia realidades empíricas contrastables. Abundan los ejemplos de teorías científicas (hoy aceptadas) que inicialmente fueron conjeturas exóticas. Por otro lado, con la relatividad Einstein nos mostró que nuestra intuición sobre el mundo físico basada en experiencia sensorial puede ser fundamentalmente errónea. En un estudio de la filosofía del conocimiento subyacente en *Eureka*, Rosenblat indica que sin rechazar la razón “Poe parte de un cuestionamiento de la razón y la lógica como únicos medios de conocimiento, y formula una severa crítica a los mecanismos lógicos tradicionales como únicos caminos hacia la verdad... Poe defiende, en cambio, la vía intuitiva como acceso a una comprensión global de la realidad” (Rosenblat 1997, p.177). Es innegable que la intuición y esa mezcla de especulación e introspección – que Peirce llama abducción – juegan un papel determinante en la gestación de una teoría científica pero esto no significa que las teorías científicas son arbitrarias ni justifica el rechazo extremo a la razón y a la lógica promovidos por Derrida y Foucault. La lección es que el concepto de “método científico” no es un concepto práctico y que la ciencia es simplemente otra actividad humana y por lo tanto no es inmune al empantanamiento característico de las empresas humanas. Si esta condición es lo que se entiende como “construcción social” entonces efectivamente una teoría científica sí es una construcción social. Esto no quiere decir que todas las construcciones sociales son equivalentes: las teorías científicas son construcciones sociales que presentan ventajas epistémicas de las cuales otras construcciones sociales no gozan. La innegable convergencia de los productos de la ciencia hacia realidades empíricas incontrovertibles y la pasión con la que los científicos se entregan despiadadamente a encontrar errores en las teorías de sus colegas son las bases que hacen de la ciencia una cosmovisión que goza de privilegios epistémicos. La ciencia es una manera de aproximarse a la naturaleza que incorpora de manera estructural un mecanismo agresivo de identificar y corregir errores. ¿Cuándo se ha visto a un astrólogo empeñado en destruir la astrología practicada por el vecino? Al fin y al cabo, los primeros que en el siglo XX comenzaron a dudar de la ciencia fueron los matemáticos y físicos, de modo que cuando todo el mundo empezaba a tener ciega fe en el conocimiento científico sus más avanzados pioneros empezaban a dudar de él (Sabato 1983, p. 42). Al fin de cuentas Popper tenía razón: fueron los golpes recibidos por los 80 años en que los cosmólogos intentaron vehementemente por destruir el big bang los que hicieron que esta teoría se convirtiera en un modelo robusto y consistente con los datos cosmológicos.

Reflexión

El énfasis colocado por los sociólogos de la ciencia en explicar las complicadas interacciones que se dan en la práctica de la ciencia desafortunadamente no ha logrado llegar a un consenso que ofrezca valor agregado a los estudios de la ciencia y al entendimiento del proceso científico. La historia de la cosmología del big bang nos ha mostrado que detrás de cada teoría científica, detrás de cada

experimento científico hay un drama humano que no queda fielmente reflejado en las tesis de la sociología de la ciencia. Gamow, Alpher, Herman, son buenos perdedores que se retiraron de la contienda cuando el ambiente en contra del big bag les ofuscó sus ambiciones profesionales. Hoyle y su reducido sequito por el contrario nunca quisieron abandonar sus ideas cosmológicas y gastaron esfuerzos desmedidos para acusar a los del otro bando de deshonestos, dogmáticos y represores. Estamos de frente a una conducta humana que es apenas natural: hay buenos perdedores y hay malos perdedores, cuando un investigador crea su propia teoría y le invierte todo su capital intelectual, innumerables horas de arduo trabajo, serios sacrificios personales y una importante cuota de energía emocional, es de esperar que se entregue con pasión a defender su teoría. Personalidades fuertes (como la de Hoyle) contribuyen a hacer que el apego a su creación intelectual alcance niveles de ardor religioso. Los sociólogos de la ciencia han debido estudiar psicología humana.

La revisión del contexto histórico y social en el que surge la cosmología moderna deja claramente plasmado que el *big bang* (y conceptos soporte – como materia oscura) son el producto de una empresa humana, obviamente influenciada por factores sociales, pero que ha brotado a pesar de las preferencias de los practicantes, muchas veces en contra de las ideas preponderantes en el medio académico y a pesar de los intentos de algunos influyentes teóricos por suprimirla. Con este examen detallado de la historia del modelo se dibuja un patrón que se repite sistemáticamente una y otra vez: la idea de un universo en expansión con un origen caliente y denso en el pasado se le apareció, sin quererlo, a investigadores que venían de fuera de la cosmología, físicos nucleares, matemáticos o físicos de partículas (A. Guth) que no eran miembros del “club de astrónomos” y que no habían invertido su capital intelectual en el modelo. Contrario a lo que la sociología de la ciencia hubiera predicho, el big bang ganó la partida.

Datos interesantes:

- “Sus cálculos son correctos, pero su física es abominable” Einstein a Lemaitre, 1927 (durante el V Solvay International Conference en Bruselas)
- “Filosóficamente, la noción de un comienzo al orden presente de la Naturaleza es repugnante”, Arthur Eddington (1931)
- Lemaitre anticipó (por 2 años) la expansión del espacio y la relación velocidad-red shift. Hubble no citó a Lemaitre (a quien había conocido en varias oportunidades).
- Artículo de Lemaitre en Nature el 9 de mayo de 1931 El artículo era corto, y se titulaba "El comienzo del mundo desde el punto de vista de la teoría cuántica". Lemaitre publicó otros artículos sobre el mismo tema en los años sucesivos, y llegó a publicar un libro titulado "La hipótesis del átomo primitivo".
-

Referencias

- Alpher, R.A., Herman R. 1988. "Reflections on early work on 'big bang' cosmology." Pp. 24-34, *Physics Today*, August 1988.
- Arp, H., 1992. *Controversias sobre las distancias cósmicas y los cuásares*. Barcelona: Tusquets Editores.
- Benford, G., 2005. "Being true to our own imagination." Pp. 48-49. *Physics Today*, November 2005.
- Bondi, H., 1990. "The cosmological scene 1945-1952." Pp. 189-196 in *Modern Cosmology in Retrospect*, B. Bertotti, S. Bergia, R. Balbinot, A. Messina Ed., Cambridge University Press.
- Dunkley, J., et al., 2009. "Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Likelihoods and Parameters from WMAP Data," *Astrophysical Journal Supplement*, 180: 306-329.
- Feyerabend, P., 1975. *Against Method*. New York: Verso.
- Herman, R., 1997, "The prediction of the cosmic microwave background radiation." pp. 71-83 in *Gamow Symposium*, Washington, 12 April, 1997.
- Hoyle, F., 1950. *The nature of the universe*. New York: Harper.
- Hoyle, F., 1990. "An assessment of the evidence against the steady-state theory." Pp. 221-231 in *Modern Cosmology in Retrospect*, B. Bertotti, S. Bergia, R. Balbinot, A. Messina Ed., Cambridge University Press.
- Kuhn, T.S., 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Latour, B., 1993. *We have never been modern*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press
- Novikov, I.D., 2009. "Cosmology in the Soviet Union in the 1960s." pp. 99 in *Finding the Big Bang*, J.E. Peebles, L. A. Page Ed. Cambridge University Press.
- Peebles. P.J.E., 1993. *Principles of Physical Cosmology*. Princeton: Princeton University Press.
- Peebles, J., Page, L.A. (Ed.), 2009. *Finding the Big Bang*, Cambridge University Press.
- Pickering, A., 1984. *Constructing Quarks*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Quine, Willard Van Orman, 1951. "Two dogmas of empiricism", *The Philosophical Review*, 60, 20-43.
- Rosenblat, M.L., 1997. *Lo fantástico y detectivesco: Aproximaciones comparativas a la obra de Edgar Allan Poe*, Monte Ávila Editores Latinoamericana: Caracas.
- Sabato, E. 1983. *Hombres y engranajes*. Alianza Editorial: Madrid
- Sokal, A., 2008. *Beyond the Hoax: Science, Philosophy and Culture*. Oxford: Oxford University Press
- Thaddeus, P., 1972. "The short-wavelength spectrum of the microwave background," *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1972, 10: 305-334.
- Wilson, R., 1997: "Discovery of the Cosmic Background Radiation." pp. 85-94 in *Gamow Symposium*, Washington, 12 April, 1997