

Aplicación del método científico como función de la escala del sistema

Oswaldo M. Moreschi

FaMAF, Universidad Nacional de Córdoba,

Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG), CONICET,

Ciudad Universitaria,(5000) Córdoba, Argentina.

Resumen

Presentamos un estudio de la modalidad en que se aplica el método científico en diversas investigaciones, como función de la escala del sistema bajo estudio, concentrándonos principalmente en los aspectos físicos de las ciencias naturales, basándonos en un conjunto de ejemplos seleccionados.

Primeramente debemos realizar una breve descripción de lo que entenderemos por método científico; lo cual no será nuestro tema, sino su utilización. Brevemente señalaremos distintos tipos de conocimiento que se obtienen en ciencias naturales.

Presentamos varios ejemplos de cómo se emplea el método científico para sistemas con escalas cada vez más grandes. Realizamos una descripción cualitativa de dicho comportamiento.

1. ¿Qué es el método científico?

Naturalmente, si deseamos estudiar el uso del *método científico* necesitamos tener un idea precisa del concepto; lo que nos obliga a presentar una versión de trabajo de dicho concepto.

Pero cuando intentamos un estudio detallado del mismo se nos presenta la situación de que es un concepto escurridizo que tiene vida propia; pues en definitiva,

parte de su definición es el cómo se lo usa. Es por esto que en esta ocasión, intentamos adentrarnos en la naturaleza misma del método científico, al estudiar su uso en la comunidad contemporánea.

En lo que sigue, entonces, no pretendemos realizar una presentación completa y acabada del concepto del método científico, que está fuera del interés de este artículo, sino que pretendemos presentar una versión de trabajo que nos permita dirigirnos al tema de interés; que está relacionado a la manera que los científicos encaran distintos temas de la ciencia.

El método científico en primer orden

Básicamente lo definimos por medio de una serie de técnicas destinadas a la adquisición de conocimiento que incluyen:

- determinación de un marco conceptual adecuado para estudiar el suceso o problema,
- recolección de la mayor cantidad de información posible sobre el sistema bajo estudio,
 - si el sistema es controlable: realizar tantas mediciones como sean necesarias,
 - si el sistema no está bajo nuestro control: realizar tantas observaciones como sea posible,
- formulación de hipótesis sobre la naturaleza del sistema,
- formulación de leyes sobre los procesos del sistema,
- contrastar experimentalmente o por medio de observaciones las implicaciones de las hipótesis y leyes formuladas,
- estudio de las implicaciones teóricas de las leyes formuladas,
- delimitación del rango de aplicabilidad experimental y teórico de la teoría construida,
- uso exhaustivo del marco teórico conceptual antes de recurrir a un nuevo marco para la explicación de fenómenos nuevos.

Estos procedimientos pueden requerir que uno tenga que repetir alguno de ellos varias veces a lo largo de una particular investigación. Por ejemplo el obtener un contraste positivo de una hipótesis de trabajo por medio de la observación y la experimentación; puede obligarnos a cambiar el marco conceptual, para logra una formulación consistente de la teoría. El procedimiento iterativo es muy común en las investigaciones. Podríamos esquematizar el avance del conocimiento científico como un reciclaje incesante de este tipo de procedimientos sobre los temas de investigación.

El método científico en segundo orden

Como en toda actividad humana, el investigador, a medida que gana experiencia en su trabajo, va perfeccionando una serie de actitudes que le ayudan a optimizar la toma de decisiones en los procedimientos antes mencionados.

En particular, se asume que: El método científico *funciona*. O sea, realmente se puede incrementar el conocimiento. Esto significa que no podemos dudar ingenuamente sobre el conocimiento ganado. De nada serviría el método científico si no se acompaña de un sistema en que se instruye a los nuevos científicos con el conocimiento ganado hasta el momento.

Esta noción de segundo orden es necesariamente más sutil que la primera y tiene más que ver con las actitudes de los científicos respecto de los conocimientos ya ganados por la metodología de primer orden. Por supuesto que siempre permanece la posibilidad y la necesidad de que el científico cuestione todo; incluso lo que suponía que era conocimiento previo. Somos consientes que esta noción merece una discusión detallada, pero limitaciones de espacio nos impiden explayarnos en demasía. Sin embargo, en alguno de los casos presentados más abajo incluiremos situaciones en la que parte de la problemática, de esta noción de segundo orden, quedará más claramente expuesta.

2. Uso del método científico en escalas físicamente pequeñas

Las leyes físicas vienen normalmente presentadas en término de ecuaciones diferenciales; que por su naturaleza se basan en la estructura a las menores escalas del sistema bajo estudio.

La selección, casualmente de las ecuaciones diferenciales proviene de una aplicación prolija del método científico a estas pequeñas escalas.

Es por esto que precisamente en escalas pequeñas normalmente no se observan alteraciones al uso del método científico, entendido en sus conceptos más sencillos.

Esto no excluye que exista confusión sobre temas escurridizos y que se encuentren afirmaciones que aparentan contradecir al conocimiento ganado por la aplicación del método científico. Pero es debido a lo antedicho que en este trabajo nos enfocaremos más en el comportamiento de la comunidad científica cuando estudia sistemas de mayor escalas a las microscópicas.

En este artículo nos concentramos en ejemplos de naturaleza física que presentan una relación entre observaciones y explicaciones de las mismas; por lo que no mencionamos teorías que todavía no han mostrado relación con las observaciones.

3. Uso del método científico en escalas intermedias

Por escalas intermedias entenderemos aquellas mayores a las microscópicas, pero menores que las cosmológicas. Estudiemos algún ejemplo paradigmático.

Velocidad de los neutrinos medidos en el Gran Sasso

El experimento OPERA ha sido diseñado para realizar un test directo del fenómeno de oscilación de los neutrinos. Este experimento hace uso de haces de neutrinos de los muones de alta intensidad producidos en el CERN, en Ginebra, que apunta hacia el laboratorio bajo tierra LNGS situado en el Gran Sasso, a 730km de distancia en Italia.

En la página oficial del Gran Sasso National Laboratory del 29 de agosto de 2014 se lee:

“The OPERA result is based on the observation of over 15000 neutrino events measured at Gran Sasso, and appears to indicate that the neutrinos travel at a velocity 20 parts per million above the speed of light, nature’s cosmic speed limit.”

En la publicación arXiv:1109.4897 se pueden ver las distintas versiones de la información de las medidas. En la primer versión se aseguraba que los neutrinos

tenían una velocidad v determinada por:

$$\frac{v - c}{c} = (2,48 \pm 0,28(\text{stat.}) \pm 0,30(\text{sys.})) \times 10^{-5}; \quad (1)$$

donde c es la velocidad máxima de las interacciones. Lo más significativo de esta medición es la celeridad con que hicieron pública una medida que violaba una de las leyes universales de la física; esto es, que hay una velocidad máxima de las interacciones. Ley que ha sido corroborada en todas las otras observaciones hasta ese momento.

Es importante aclarar un poco más este punto. Hay sólo dos posibilidades de estructura para las transformaciones entre sistemas inerciales y por lo tanto para la estructura del espaciotiempo[Moreschi, 2000]:

O vivimos en un universo, donde no hay una velocidad máxima de las interacciones y la estructura es Galileana,

O vivimos en un universo, donde hay una velocidad máxima de las interacciones y la estructura es Lorentziana.

Hemos aprendido por medio del método científico que la estructura local del espacio tiempo es Lorentziana y por lo tanto en concordancia con la existencia de una velocidad máxima de las interacciones.

Sin embargo los investigadores de Opera no tuvieron ningún resquemor en anunciar rápidamente una medida de la velocidad de los neutrinos *que excedía la velocidad máxima de las interacciones.*

Es importante remarcar que el tema no era una nueva medida de la velocidad máxima, sino una medida de la *superación* de la misma.

Finalmente, ante la presión de la comunidad, siguieron revisando el experimento y llegaron a otra medida; determinada por:

$$\frac{v - c}{c} = (2,7 \pm 3,1(\text{stat.}) \pm 3,3(\text{sys.})) \times 10^{-6}; \quad (2)$$

donde se nota que el error es mayor que la medida, por lo que esta última medición no contradice la existencia de una velocidad máxima de las interacciones.

Alguien podría argumentar que este anécdota está relacionado más al tema de transmisión de conocimiento que al método científico; pero nosotros incluimos la técnica de transmisión del conocimiento científico dentro de la noción del método en segundo orden. En este caso, por transmisión del conocimiento, queremos significar

que alguien podría argumentar que los técnicos y científicos que participaron de la construcción del laboratorio, mediciones y redacción de artículo donde se anuncia la medida de una velocidad mayor que la velocidad máxima de las interacciones, tal vez no tenían tan en claro que está completamente probado por *todas* las observaciones y experiencias anteriores que vivimos en un espaciotiempo con estructura Lorentziana, en vez de Galileana.

Cada marco teórico tiene un rango de aplicabilidad, que viene determinado tanto de consideraciones teóricas como observacionales. Entonces es legítimo dudar de la validez de las leyes universales, fuera de estos rangos donde han sido corroboradas como exitosas. Sin embargo se considera como una desatención al método científico el desafiar la validez de las leyes universales dentro de su rango de aplicabilidad.

4. La aceleración del universo

Deseamos analizar los trabajos sobre la aceleración del universo, por lo que es preciso hacer una introducción a la problemática de cosmología.

En observaciones del universo en gran escala, someramente, podemos distinguir entre sistemas de dimensiones estelares, galácticas, de cúmulos de galaxias, vacíos(voids), etc.

Típicamente se detecta información de luz proveniente de estrellas, explosiones de estrellas, núcleos de galaxias, material interestelar y otros.

Normalmente esta luz viaja por el vacío hasta alcanzar los telescopios usados en las observaciones. Haciendo uso de las ecuaciones de la relatividad general se tiene una imagen de la física asociada que resumimos a continuación.

En un viaje típico de un fotón que llega a nuestros detectores, el mismo soporta acciones donde la curvatura de Weyl es distinta de cero ($W_{abc}{}^d \neq 0$) pero la curvatura de Ricci es cero ($R_{ab} = 0$). Sin embargo es usual en cosmología hacer uso de los modelos de espaciotiempos de Robertson-Walker que asumen exactamente lo opuesto; esto es: que la curvatura de Weyl es cero ($W_{abc}{}^d = 0$) y la curvatura de Ricci es distinta de cero ($R_{ab} \neq 0$). Claramente, entonces no se puede pasar de una descripción a la otra por medio de algún concepto de *promedio de tensores*; dado que el promedio de cero siempre daría cero. De todas formas, en lo que sigue haremos

una breve introducción a las nociones de distancias que aparecen en los estudios de cosmología que hacen uso de las geometrías de Robertson-Walker.

La distancia propia

La distancia propia d_p se define [Weinberg, 1972] como la distancia a $t = \text{constante}$; o sea:

$$d_p \equiv A(t)\chi; \quad (3)$$

donde estamos eligiendo el origen de coordenadas en la posición del observador (la Tierra).

Notar que podemos estimar la velocidad de recesión de las galaxias de la expresión:

$$\frac{v}{c} = \frac{1}{c} \frac{d(d_p)}{dt} = \frac{1}{c} \dot{A}\chi = \frac{1}{c} H_0 d_p; \quad (4)$$

donde se usa la definición del parámetro de Hubble $H_0 \equiv \frac{\dot{A}(t_0)}{A(t_0)}$ y donde hemos introducido la constante c para poder evaluar en las unidades usuales.

Otros autores [Bartelmann and Schneider, 2001] definen la distancia propia $D_p(p_1, p_2)$, de un emisor en el evento p_1 al receptor en el evento p_2 , por

$$D_p(p_1, p_2) = c \int_{t_1}^{t_2} dt = c(t_2 - t_1); \quad (5)$$

El corrimiento al rojo

El corrimiento al rojo z está relacionado al parámetro de expansión por

$$z = \frac{A(t_0)}{A(t)} - 1; \quad (6)$$

donde t_0 es el tiempo presente y t el tiempo de emisión de la luz.

La distancia luminosidad

La distancia luminosidad d_L se define [Weinberg, 1972] por:

$$d_L \equiv \sqrt{\frac{L}{4\pi l}}; \quad (7)$$

donde L es la luminosidad absoluta de la fuente y l la luminosidad aparente. Esta definición proviene de la observación que para un objeto puntual o con simetría esférica, cuando vale la geometría euclidiana, la relación entre luminosidad absoluta y luminosidad aparente está dado por:

$$l = \frac{L}{4\pi d^2}; \quad (8)$$

donde d es la distancia a la fuente. En la discusión usual [Weinberg, 2008], tomando en cuenta los efectos del ángulo que mantiene el telescopio desde la fuente, la variación relativa de tasa de emisión de fotones medidas en la fuente y por el observador, y la diferencia de energía de los fotones emitidos por los observados, se llega a la expresión de la distancia luminosidad en término de la geometría dada por:

$$d_L = A(t_0) f_k(\chi)(1+z) = \frac{A(t_0)^2}{A(t)} f_k(\chi). \quad (9)$$

La distancia angular

La distancia angular se define por:

$$d_A = A(t) f_k(\chi). \quad (10)$$

De aquí se deduce que:

$$\frac{d_A}{d_L} = \frac{A(t)}{A(t_0)(1+z)} = \frac{1}{(1+z)^2} = \left(\frac{A(t)}{A(t_0)}\right)^2. \quad (11)$$

La distancia geométrica

En estudios de lentes gravitacionales y de geometría en general aparece como natural la distancia geométrica d_g . Sobre el cono pasado de luz del observador, se define la distancia geométrica como la distancia afín, cuando el vector nulo geodésico l , se ajusta para que satisfaga

$$g(v, l) = 1; \quad (12)$$

donde v es el cuadvivector velocidad del observador y g la métrica del espaciotiempo. Para el caso de una métrica de Robertson-Walker esto indica que

$$d_g(t, \chi) = \frac{1}{A(t_0)} \int_t^{t_0} A(t') dt'; \quad (13)$$

donde t y χ están relacionados por medio de:

$$\int_t^{t_0} \frac{1}{A(t')} dt' = \int_0^\chi d\chi = \chi. \quad (14)$$

Evidencia de supernovas para un universo acelerado y constante cosmológica

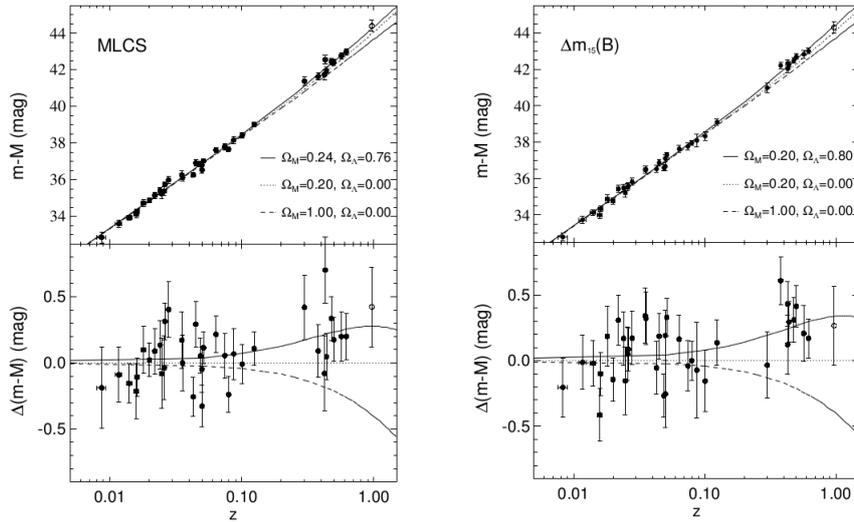


Figura 1: En un célebre (más de 7500 citas) artículo [Riess et al., 1998] de 1998 se publicó evidencia sobre la interpretación de una aceleración del universo y de una constante cosmológica no nula.

Medición(?) de la densidad y constante cosmológica de supernovas distantes

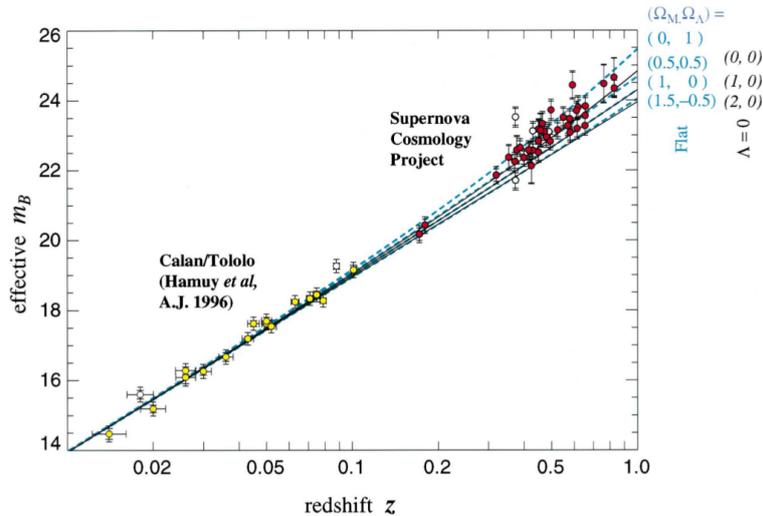


Figura 2: En un célebre (casi 8000 citas) artículo [Perlmutter et al., 1999] de 1999 se anunció la *medición* de la densidad cósmica y la constante cosmológica por medio de mediciones de supernovas distantes.

Lo que merece que se remarque en estos dos trabajos observacionales, es que la información fundamental estudiada, está mostrada en la relación entre la intensidad medida de la luz proveniente de supernovas lejanas con su corrimiento al rojo z . A

primera vista, se nota que existe una relación muy cercana a la lineal, cuya dispersión va aumentando en la medida que z aumenta. De esa gran dispersión para los mayores valores de corrimiento al rojo, los autores detectan una leve curvatura de la línea, que les valió el otorgamiento del premio Nobel de física del 2011.

En un ignoto(14 citas) trabajo[Bengochea, 2011] de Bengochea, se señala la problemática del diseño de los ‘fiteadores’ para las curvas de luminosidad de las supernovas; donde en algunos casos se usa el modelo cosmológico que se desea testear en la determinación del ‘fiteador’.

En el trabajo [Smith et al., 2014] se estudia la incidencia de lentes gravitacionales débiles sobre la medición de las supernovas. Si bien utilizan un modelo sencillo de lente gravitacional débil, en su figura 4 encuentran una gran dispersión en el valor de la convergencia a medida que aumenta la distancia. Aunque los autores remarcan en la introducción la importancia que tiene el valor de la convergencia en relación a la luminosidad observada de las supernovas; curiosamente de su estudio no infieren una mayor imprecisión en la ecuación relacionada a la energía oscura.

Sobre toda esta temática detectamos dos tipos de actitudes diferentes en la comunidad. En una de ella se dice que estamos en presencia de un fenómeno que todavía no se entiende y por lo tanto merece mucho más estudio hasta lograr su completo entendimiento. En la otra, se asume que la interpretación de las observaciones es concluyentes y por lo tanto se infiere que existe una aceleración repulsiva en el universo. El hecho de que esta interpretación viole una de las propiedades básica de las interacciones gravitacionales; esto es, que objetos masivos se atraen, es algo que no se le ha dado importancia. Se toma esta violación como algo menor y se comienza la búsqueda de nuevas explicaciones teóricas, que conducen a la temática de la energía oscura (que no se sabe lo que es) para poder ‘explicar’ las mediciones.

En nuestra opinión la primera actitud, de seguir estudiando un conjunto de observaciones que no se entienden; en las que además sabemos que intervienen muchos fenómenos complejos como por ejemplo los efectos de lentes gravitacionales, que todavía estamos investigando y entendiendo, o el complicado ajuste de las curvas de luminosidad de las supernovas, es la actitud normal del cauteloso avance en el conocimiento científico. En vez la segunda actitud, de inmediatamente saltar a conclusiones espectaculares que implican contradecir el conocimiento ganado sobre la

naturaleza de las interacciones gravitacionales, la consideramos un tanto fuera de las indicaciones contenidas en un buen entendimiento del método científico.

5. Resultados de las observaciones del satélite Planck de la radiación cósmica de fondo

Parámetros cosmológicos de la presentación del grupo de Planck

El proyecto Planck involucró cientos de científicos para poner en órbita el satélite que tuvo como misión realizar mediciones más precisas de la radiación cósmica de fondo.

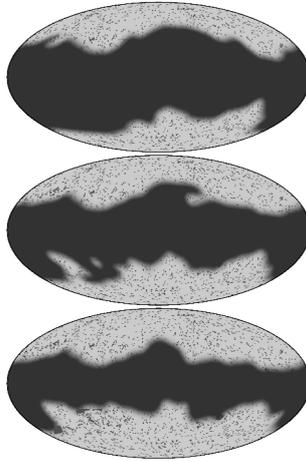


Figura 3: Estos gráficos muestran las máscaras usadas en el estudio de los datos de algunos de los instrumentos del satélite Planck.

La interpretación de los datos de los distintos sensores no es tarea sencilla; dado que como vemos en la figura, existen múltiples fuentes de señal que nada tienen que ver con la radiación cósmica de fondo. Esto fuerza a los investigadores a adoptar decisiones sobre qué hacer con las zonas bloqueadas por otras fuentes.

El ajuste de parámetros cosmológicos publicados por el grupo de Planck involucra la estimación de la dimensión ‘comoving’ $r_S(z_*)$ del horizonte acústico al tiempo de último choque. De los datos observacionales se determina [Ade et al., 2014] la llamada escala acústica, que se define por el tamaño angular $\theta_* = r_S/D_A$; donde $D_A(z_*)$ es la distancia angular.

$$\theta_* = 0,0104148 \pm 0,0000066 = 0,596724^\circ \pm 0,00038^\circ. \quad (15)$$

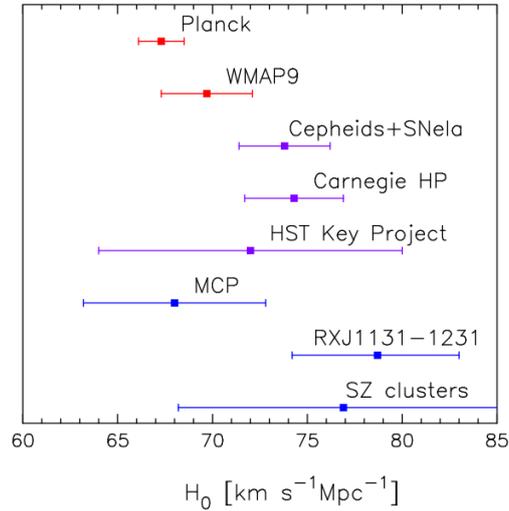
Los autores usan la notación usual en que el parámetro de Hubble se expresa por $H_0 = h100\text{kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$; o sea h contiene la información del valor en término de 100 kilómetros por segundo por megaparsec. Como de costumbre las densidades se refieren al valor de la densidad crítica. Los valores obtenidos para las distintas cantidades son: densidad de materia $\Omega_m h^3 = 0,0959 \pm 0,0006$, densidad bariónica $\Omega_b h^2 = 0,022068$, densidad de materia oscura fría $\Omega_{cdm} h^2 = 0,12029$, densidad de energía oscura $\Omega_\Gamma = 0,6825$, edad del universo $Age = 13,819\text{Gyr}$, corrimiento correspondiente al último choque de fotones $z_* = 1090,43$

El parámetro de Hubble no se mide directamente sino que lo eligen cuidadosamente con el valor $H_0 = 67,11\text{kms}^{-1}\text{Mpc}^{-1}$; con lo que obtienen el valor para la densidad de materia de: $\Omega_m = 0,3175$. Lo anterior implica que:

$$\Omega_m + \Omega_\Gamma = 1,0000; \quad (16)$$

donde se debe enfatizar que este valor tiene 5 cifras significativas. Ninguna de las mediciones anteriores tiene tanta precisión; por lo que queda claro que se elige el valor de H_0 para que la densidad total coincida con la densidad crítica.

En relación con esto cabe mencionar que en el artículo[Ade et al., 2014] del grupo Planck, aparece el gráfico



Este gráfico muestra que los valores de H_0 debido al consorcio del satélite Planck, no coincide con al menos tres y casi cuatro de las otras observaciones. Conviene remarcar que las observaciones de Planck no miden directamente a H_0 ; pero sin embargo es un parámetro que entra en la descripción de los datos. La *elección* del valor publicado

de H_0 no sólo logra que la suma de las omegas de materia y cosmológica den 1; sino que por ende trae como consecuencia que la curvatura espacial se anula.

Esta decisión de elegir el valor de H_0 basados en un prejuicio de lo que debe ser la geometría espacial del universo dista mucho de la concepción de método científico descrito anteriormente.

6. Inflación en el universo

¿Qué es el proceso inflacionario en el universo?

En el proceso inflacionario se postula una fase que ocurrió alrededor de unos 10^{-35} segundos luego de la gran explosión. Se cree que llenó al universo con una clase de energía llamada energía del vacío; y como consecuencia de ello (que se asemeja a los efectos de una constante cosmológica), *la gravitación se tornó repulsiva* por un lapso de unos 10^{-32} segundos; produciendo una expansión por un factor aproximado de 10^{50} .

¿Por qué se le ocurrió a físicos de partículas postular un proceso como este?

El argumento es que *resuelve* algunos problemas. El título del artículo[Guth, 1981] de Guth es: *“Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problem”*

El problema del horizonte es la búsqueda de una explicación de por qué cuando se observa la radiación cósmica de fondo en partes de la esfera celeste que se supone están causalmente desconectadas, tienen un aspecto tan parecido, con cinco cifras significativas.

El llamado problema de la “llanura”, es algo que no compartimos, pero su argumento es algo así: las ecuaciones de campo para un universo homogéneo e isotrópico son

$$A \frac{d^2 A}{dt^2} = -\frac{4\pi G}{3 c^2} (\rho c^2 + 3p) A^2$$

$$\left(\frac{dA}{dt}\right)^2 + kc^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \rho c^2 A^2.$$

No se observa ningún problema, hay que buscarlo. La segunda ecuación es la llamada ecuación de Friedman, que originalmente no presenta problema. Pero si dividimos por A^2 e identificamos el parámetro de expansión de Hubble $H = \frac{\dot{A}}{A}$, donde punto

significa derivada temporal, se tiene

$$H^2 + \frac{kc^2}{A^2} = \frac{8\pi G}{3} \rho. \quad (17)$$

Notar que cuando $A \rightarrow 0$, que coincide con $t \rightarrow 0$; los tres términos divergen; pero usualmente eso no se asocia con un problema. Notar que en particular, en ese límite $(H^2 - \frac{8\pi G}{3} \rho) \rightarrow \infty$; a no ser que $k = 0$. Esto tampoco parece un problema.

Pero si dividimos por H^2 , hay gente que tiene problemas; pues ahora se tiene:

$$1 + \frac{kc^2}{A^2 H^2} = \frac{8\pi G}{3H^2} \rho. \quad (18)$$

En el artículo de Guth[Guth, 1981] de 1981 se argumenta: ‘el valor inicial de la constante de Hubble debe ser elegida con extremada precisión para producir un universo tan plano (i.e., cerca de la densidad crítica) como el que vemos hoy (el problema de la llanura)’.

Este enredo argumentativo es solamente eso y no compartimos que pueda ser usado como justificativo para crear un modelo teórico con infinidad de problemas.

El problema del horizonte es intrigante. Pero sin recurrir a nuevos mecanismos lo primero que se debe hacer es comprender todas las consecuencias de estar en un universo que tiene una singularidad inicial. En el trabajo [Moreschi, 1999], se realizó un cálculo del comportamiento de la densidad de entropía a medida que uno se acerca a la singularidad inicial, y se pudo probar que en realidad la densidad de entropía *tiende a cero* en vez de *diverger*; como dice el modelo estándar cosmológico. Esto tiene como consecuencia que la libertad de elección de los datos iniciales, desde un punto de vista termodinámico, tienden a cero; dado que la cantidad de información contenida en cualquier sistema está asociado a su entropía.

El hecho que el trabajo mencionado no haya sido tomado en cuenta por la comunidad que estudia la especulación de una fase inflacionaria, no nos preocupa tanto como el hecho que dicha especulación tiene infinidad de problemas sin solución. El más básico problemas de todos es que explica la homogeneidad e isotropía del universo asumiendo un mecanismo que necesita homogeneidad e isotropía para poder presentarlo. El segundo es que asume la existencia de un campo que no tiene relación con ninguna observación anterior. Es necesario asumir con mucha precisión la forma de los potenciales que deben ser usados para la descripción del campo fundamental. Dado que la singularidad inicial se sigue asumiendo de carácter espacial los

mecanismos dinámicos, a posteriori, jamás podrán explicar los datos iniciales. En una interesante presentación en la reunión Grav11, un colega presentó la opción de permitir *que las ecuaciones de la gravitación no valgan* por un período de tiempo cósmico para poder *‘salvar’* a la inflación.

Sin embargo los modelos inflacionarios gozan de gran popularidad en la comunidad de cosmología, al punto que es difícil encontrar discusiones de alternativas.

Como los modelos inflacionarios están asociados a una curvatura espacial plana, todas las observaciones, incluidas las últimas del satélite Planck, de la radiación cósmica de fondo, ajustan sus valores para que siempre se obtenga $k = 0$.

Se debe remarcar que en un modelo cosmológico donde se asume la homogeneidad e isotropía del espacio, existen sólo tres posibilidades para el aspecto espacial de la curvatura. El signo y valor de la curvatura están asociados al parámetro k ; que sólo puede tomar los valores 1, 0 o -1. Por lo tanto no es comparable a una variable que uno pueda medir con algún grado de precisión; sino que es una característica de nuestro universo temprano que sólo puede tener uno de estos tres valores discretos; lo que determina por completo el aspecto global de la geometría cósmica.

Desde un punto de vista observacional, la posibilidad de que k sea cero está asociada a la posibilidad de medir con *infinita* precisión tanto la velocidad de expansión del universo como la densidad de la materia. Como tal medición no se puede realizar con infinita precisión, la probabilidad de que $k = 0$, *es cero*. Dicho de otro modo, usando la jerga cosmológica: Con un grado de confianza del 100 % podemos asegurar que $k \neq 0$.

La defensa de los modelos inflacionarios por lo tanto se asemeja más a actos de fe que a actitudes encuadradas en el método científico.

7. Comentarios finales

En este trabajo, por medio de ejemplos, hemos presentado la tesis de que en realidad existe una costumbre asumida por la comunidad científica que implica que se puede, y se realiza, una relajación de la manera usual en que se aplica el método científico cuando se emplea en sistemas cuyas escalas son cada vez más grandes. Lo entendemos como una observación curiosa del comportamiento de la comunidad.

La presentación en esta conferencia de Bruno Borge, contiene un estudio de las discusiones entre Stathis Psillos y van Fraassen sobre la inferencia a la mejor explicación. Nuestra presentación puede ser relacionada con este tema, dado que un uso poco apropiado del método científico se lo puede asociar al concepto del mal lote de explicaciones de observaciones.

Hemos elegido algunos ejemplos paradigmáticos, pero la lista podría ser mucho mayor.

Las observaciones que presentamos no deben entenderse como la negación a ideas nuevas, incluso que cambien los marcos teóricos existentes; estamos preparados para eso. Sin embargo nos preocupa que incluso las técnicas de interpretación de las observaciones tengan un velo en el que se deba imponer el modelo predominante del momento; en vez de usarse técnicas independientes de modelos que permitan comparar las observaciones con distintos modelos de la realidad.

No podemos terminar sin agradecer las valiosas críticas del Referee anónimo que provocó una considerable mejora de la presentación.

Referencias

- [Ade et al., 2014] Ade, P. et al. (2014). Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. *Astron.Astrophys.*, 571:A16, 1303.5076.
- [Bartelmann and Schneider, 2001] Bartelmann, M. and Schneider, P. (2001). Weak gravitational lensing. *Phys.Rept.*, 340:291–472, astro-ph/9912508.
- [Bengochea, 2011] Bengochea, G. R. (2011). Supernova light-curve fitters and Dark Energy. *Phys.Lett.*, B696:5–12, 1010.4014.
- [Guth, 1981] Guth, A. (1981). Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problem. *Phys. Rev. D*, 23:347.
- [Moreschi, 1999] Moreschi, O. M. (1999). Causal statistical mechanics calculation of initial cosmic entropy and quantum gravity prospects. *Int.J. Theo. Phys.*, 38(4):1373–1983.

- [Moreschi, 2000] Moreschi, O. M. (2000). *Fundamentos de la Mecánica de Sistemas de Partículas*. editorial Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba.
- [Perlmutter et al., 1999] Perlmutter, S. et al. (1999). Measurements of Omega and Lambda from 42 high redshift supernovae. *Astrophys.J.*, 517:565–586, astro-ph/9812133.
- [Riess et al., 1998] Riess, A. G. et al. (1998). Observational evidence from supernovae for an accelerating universe and a cosmological constant. *Astron.J.*, 116:1009–1038, astro-ph/9805201.
- [Smith et al., 2014] Smith, M. et al. (2014). The Effect of Weak Lensing on Distance Estimates from Supernovae. *Astrophys.J.*, 780:24, 1307.2566.
- [Weinberg, 1972] Weinberg, S. (1972). *Gravitation and cosmology: principles and applications of the general theory of relativity*. John Wiley & Sons, New York.
- [Weinberg, 2008] Weinberg, S. (2008). *Cosmology*. Oxford University Press, Oxford.