

<http://vintageprintable.com/>  
*El sistema copernicano por Andreas Cellarius.*

## El principio antrópico: un problema de ajuste fino

Gerardo Martínez Avilés

Imaginemos a un investigador en geofísica que tiene una teoría que cambiaría nuestro entendimiento del pasado de la Tierra. Según nuestro hipotético personaje, hace algunos pocos miles de años se estrelló sobre la Tierra un asteroide de gran tamaño, parecido al que se cree provocó la extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años. El investigador va entonces a hablar con el director de su instituto para que apruebe el presupuesto para realizar una expedición y encontrar el cráter que semejante impacto debió haber formado en algún lugar de la Tierra. Al escuchar las ideas del investigador, el director del instituto le dice sin chistar: “No se moleste en buscar su cráter, amigo. No

lo encontrará”. El investigador se queda helado. “¿Cómo lo sabe?” pregunta sorprendido. El director le replica: “Amigo, si un asteroide tal se hubiera estrellado contra nuestro planeta hace solamente unos miles de años, como afirma, créame, ni usted ni yo estaríamos aquí. Pero dado que aquí estamos, entonces el suceso no pudo haber ocurrido”. El director del hipotético instituto utiliza para hacer su predicción lo que se conoce en cosmología como “principio antrópico”. ¿Pero de qué se trata exactamente dicho principio?

## **Efectos de selección**

Para poder entender cómo funciona el principio antrópico, debemos explicar primero lo que se conoce en las ciencias experimentales como un efecto de selección. Supongamos que tenemos un estanque con peces de diferentes tamaños, y se nos pide que determinemos el tamaño del pez más pequeño del estanque. Para hacer nuestro experimento utilizamos una red para atrapar a los peces y así poder medirlos. Después de un número razonable de intentos notamos una feliz coincidencia: el tamaño de los peces más pequeños es exactamente el mismo que el tamaño de los agujeros de nuestra red. Pero antes de correr a publicar los resultados de nuestro estudio debemos preguntarnos si nuestra muestra no está sesgada de algún modo. Para esto utilizamos ahora una red con agujeros un poco más pequeños, y al poco tiempo notamos que podemos atrapar peces más pequeños que con la red anterior y nos percatamos de lo que pasó. Nuestra forma de atrapar peces nos impide atrapar a los que son más pequeños que los agujeros de la red que usamos. Esto es un efecto de selección. La forma de hacer el muestreo hace que exista una tendencia a obtener ciertos resultados dejando fuera otros. Los científicos deben estar muy conscientes del tipo de sesgos observacionales que sus propios instrumentos de medición o sus formas de hacer muestreos introducen, antes de sacar cualquier conclusión. Pero las cosas se complican un poco más para los cosmólogos cuando quieren conocer el universo que estudian, dado que es precisamente su propia existencia la causa del efecto de selección.

## **Juegos de números**

En 1919 el físico y matemático Hermann Weyl calculó las razones entre los valores de diferentes fuerzas presentes en la naturaleza. Simplemente comparó cuántas veces más grande es, por ejemplo, la fuerza electromagnética con que se repelen dos electrones comparada con la fuerza de gravedad con la que los mismos se atraen. La virtud de

calcular la relación entre dos fuerzas es que la cantidad que se obtiene es un número “puro”, es decir, no depende de las unidades con que se midan las fuerzas. Weyl obtuvo que la fuerza electromagnética es del orden de  $10^{39}$  (un 1 seguido de 39 ceros) veces más grande que la fuerza de gravedad. ¿Por qué ese valor precisamente? A Weyl le consternaba que apareciera un número tan grande, dado que según su intuición, y al parecer nada más que su intuición, la mayor parte de los números puros que aparecen en las teorías físicas debían ser del orden de la unidad.

En 1923 el astrónomo Arthur Eddington también mostró asombro al hacer un cálculo de la cantidad de partículas que existen en el universo. Según Eddington, el valor de dicho número era simplemente producto del azar, pero encontró que dicha cantidad --de nuevo, un número sin unidades-- es del orden de  $10^{79}$ . Lo que le llamaba la atención era que este último número es muy cercano al valor del número calculado por Weyl elevado al cuadrado. Se empezó a sospechar entonces que ambos números podían estar relacionados. En 1937 el físico Paul Dirac calculó otra cantidad sin unidades. Esta vez se trató de la razón del tiempo de vida típico de una estrella y el tiempo que tarda la luz en atravesar el radio de un protón --y no culpo al lector si se pregunta qué diablos andaba buscando Dirac con esta razón. Como se puede casi adivinar, el número que obtuvo es del mismo orden de magnitud que el número de Weyl. Sin embargo, esta vez encontramos que el valor que puede esperarse del número calculado por Dirac no es aleatorio, sino que está sujeto a un efecto de selección. Al respecto, en 1961 el astrofísico Robert Dicke hizo notar que la vida de las estrellas debe, necesariamente, ser lo suficientemente larga para que tengan tiempo de formar los elementos esenciales para la vida basada en el carbono. Y dado que los físicos son precisamente un buen ejemplo de este tipo de vida, sus observaciones están sesgadas a obtener números de dicho orden.

La extensión de las vidas y tamaños de las estrellas depende de que la gravedad sea muy débil en comparación con otras fuerzas. Ésta fue la primera de una serie de “coincidencias” entre los valores de las constantes de la física y las condiciones necesarias para la presencia de la vida en el universo.

Después de los juegos de números de Weyl, Eddington y Dirac, muchos investigadores encontraron que las constantes de la física parecen estar exquisitamente ajustadas para la presencia de vida basada en el carbono. Por ejemplo, si la fuerza electromagnética no fuera 39 órdenes de magnitud más grande que la fuerza de gravedad, entonces las estrellas colapsarían en un tiempo demasiado breve como para que se formen los elementos pesados necesarios para la vida. Si las masas del protón, el electrón y el neutrón fueran ligeramente distintas a los valores que poseen, la química del carbono

sería fundamentalmente distinta, haciendo imposible que la vida que conocemos emergiera. Si la tasa de expansión del universo fuera un poco mayor, entonces la formación de estructuras como estrellas y galaxias sería imposible y nuestra vida que depende de ellas también lo sería. Uno puede encontrar una gran cantidad de ejemplos de este tipo, en donde mover ligeramente los valores de las constantes de la física nos da como resultado un universo fundamentalmente distinto al que observamos y donde, con casi toda seguridad, la vida como la conocemos no podría existir. Esto se conoce en cosmología como un problema de ajuste fino.

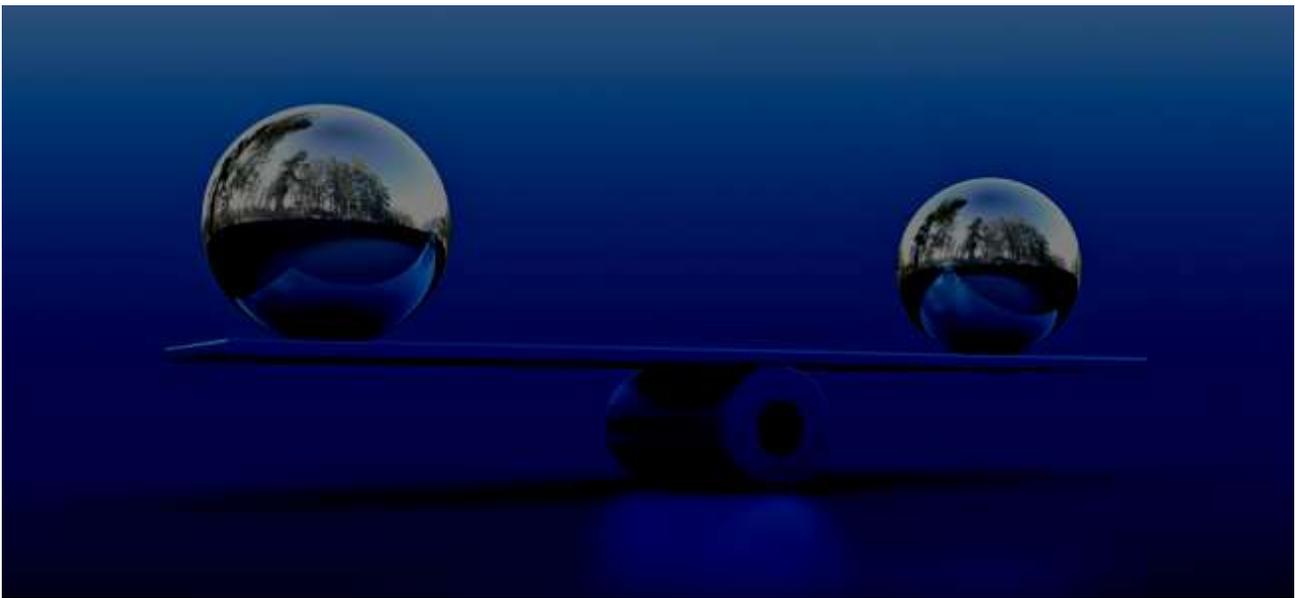


Imagen: <http://famatechnology.com/fine-tuning/>

Fig. 1. Ajuste fino. En la fotografía podemos observar una configuración en equilibrio inestable. Cualquier perturbación al sistema lo lleva a su imposibilidad. De igual manera, si variamos ligeramente alguna de las características de nuestro universo, como las relaciones entre la fuerza electromagnética y la gravedad, nuestra existencia sería imposible.

## Los diferentes principios antrópicos

En 1974 el astrofísico Brandon Carter enunció lo siguiente: “Debemos estar preparados para tomar en cuenta el hecho de que nuestra posición en el universo es necesariamente privilegiada en el sentido de ser compatible con nuestra existencia como observadores”. Con este enunciado, Carter introdujo en la cosmología al principio antrópico. Aunque pueda parecer inocente, la introducción de dicho principio cambia fundamentalmente la forma de concebir nuestro lugar en el universo. Dentro de muchas teorías científicas se encuentra implícita una forma de razonamiento que se deriva del llamado “principio copernicano”. Este principio se remonta a 1543 cuando Nicolás Copérnico hizo notar que la Tierra, y con ella los seres humanos, no ocupan un lugar especial en el universo.

Desde entonces asumimos que la Tierra es un planeta común, que gira alrededor de una estrella común, que pertenece a una galaxia común y que solamente es una de los billones de galaxias que existen en la inmensidad del cosmos. En pocas palabras, vivimos en un lugar típico del universo. Lo que Carter advierte es que debemos tomarnos con cierta precaución al principio copernicano.

¿Cómo se ve un lugar típico del universo? La mayor parte del volumen del universo se encuentra ocupado por los vacíos que existen entre los cúmulos de galaxias (ver [“Cúmulos de galaxias: gravedad a gran escala”](#) en Cienciorama). En uno de estos lugares no podríamos observar absolutamente nada, ya que la fuente de luz más cercana se encontraría demasiado lejos para ser percibida a simple vista. En estos lugares reinan el frío y la oscuridad de la ausencia de materia en forma de estrellas o galaxias. Sin embargo, nosotros observamos un cielo repleto de estrellas ya que nuestro planeta se encuentra girando alrededor de una estrella dentro del disco de una galaxia espiral. El espacio dentro de las galaxias no es, ni de cerca, un lugar típico del universo. Pero estamos sesgados a observarlo ya que es un lugar que contiene las condiciones que permiten nuestra existencia. Como resume Brandon Carter: “Si bien nuestra existencia no es necesariamente central, es hasta cierto punto inevitablemente privilegiada”.



Fotografía del cielo de Innsbruck, Austria. Por Felix Koch y Gerardo Martínez.

Fig. 2. Un cielo como el que se observa desde la Tierra, repleto de estrellas, es de hecho un paisaje bastante atípico del universo. La mayoría de las regiones del cosmos son enormes vacíos oscuros y fríos. El panorama que observamos, si bien es raro, es aquel que es consistente con nuestros requerimientos como observadores.

Los cosmólogos John Barrow y Frank Tipler publicaron en 1986 un libro llamado *The anthropic cosmological principle* (El principio antrópico cosmológico). En su enorme monografía incluyen varias versiones del principio antrópico. Por ejemplo el principio antrópico débil:

“Los valores observados de todas las constantes físicas y cosmológicas no son igualmente probables sino que están restringidos por el requerimiento de que existen lugares donde la vida basada en el carbono pueda evolucionar y de que el universo sea lo suficientemente viejo para que ya lo haya hecho”.

Casi todos los cosmólogos aceptan esta versión ya que se trata de una proposición necesariamente verdadera que se conoce como tautología. Es un poco como decir: si las cosas no fueran como son, serían distintas. Pero existe otra versión mucho más controvertida, conocida como principio antrópico fuerte:

“El universo debe tener las propiedades que permitan el desarrollo de la vida en algún momento de su historia”.

El hecho de que en esta última versión aparezca la palabra “debe”, es lo que molesta a la mayoría de los cosmólogos. El filósofo griego Aristóteles escribió hace más de 2000 años en su libro *Metafísica* que las cosas pueden tener causas finales. Es decir, podemos en parte explicar la existencia de algo al conocer aquello para lo cual ese algo existe. En el caso del principio antrópico fuerte el universo existe con el propósito de generar vida dentro de él. No obstante, la teleología --el estudio de las causas finales o propósitos-- y la ciencia moderna no se llevan muy bien que digamos, y es por ello que la versión fuerte del principio antrópico es muy poco aceptada. Además de estas dos versiones existen al menos una treintena más, pero casi todas son muy especulativas por lo que gozan de mala reputación y de poca gente que las tome en serio.

¿Por qué antrópico? Brandon Carter eligió llamar a su principio “antrópico” tomando como raíz la palabra griega *anthropos* que quiere decir humano --de ahí viene también antropología, por ejemplo. El hecho de que otras formas de vida, como las bacterias o las plantas, requieran las mismas condiciones en el universo hace que el nombre del principio sea algo impreciso. Además de esto, el término deja un sabor de que el ser humano tiene una mayor importancia en el esquema de las cosas que lo que el mismo

principio antrópico realmente implica. En 1983, el mismo Carter dijo que su elección debió haber sido en lugar de “principio antrópico”, un más sobrio “principio de autoselección”. Pero como suele pasar con los malos nombres en la ciencia, fue demasiado tarde para enmendar el error.



Imagen tomada de: <http://bc.unam.mx/murales07.html>

Fig. 3. La búsqueda de nuestro lugar en el cosmos ha sido uno de los grandes problemas científico-filosóficos de la humanidad. En el muro sur de la biblioteca central de la UNAM, se puede ver a la izquierda, una representación del sistema geocéntrico de Ptolomeo y a la derecha el sistema heliocéntrico de Copérnico.

### ¿Un principio con poder de predicción?

Uno de mis pasatiempos favoritos cuando estoy en la biblioteca es ir a la sección de cosmología y buscar qué dice cada autor respecto al principio antrópico. Cualquier libro de cosmología que se respete tiene al menos un pequeño párrafo dedicado al controvertido principio. Muchos lo consideran una mera curiosidad, mientras otros creen que el principio, usado con cautela, puede tener cierto poder predictivo. Un muy citado ejemplo es la “predicción” de la resonancia del carbono de Fred Hoyle.

En 1953 un problema astrofísico en boga era la cuestión de cómo se forman los elementos químicos en las estrellas. Particularmente era sumamente difícil explicar la producción de carbono en las cantidades que las observaciones requerían, y de paso la vida de los astrónomos. El astrónomo Fred Hoyle pensó entonces que para la formación

de un isótopo de carbono conocido como Carbono 12 ( $^{12}\text{C}$ ) se requería una resonancia en la energía necesaria para su formación. Esto quiere decir que la producción de carbono se dispara si se cuenta con dicha energía. Hoyle predijo con precisión que la energía debía ser de 7.7MeV --el megaelectronvoltio, MeV, es una unidad de energía muy común en física nuclear. Persuadidos por la predicción de Hoyle, ese mismo año un grupo de físicos experimentales dirigidos por Ward Whaling y Noel Dunbar, encontraron una resonancia en la energía de la formación de Carbono 12, justo donde Hoyle predijo. Muchos años más tarde, un nutrido grupo de cosmólogos y el mismo Hoyle consideraron que la predicción se basó en el principio antrópico. Es decir, nuestra existencia requiere la mencionada resonancia del carbono. Sin embargo, Hoyle no era consciente del principio antrópico cuando hizo su predicción y muchos historiadores de la ciencia dudan que la predicción de Hoyle cuente como un uso del principio antrópico, ya que fue pensada para explicar la creación del Carbono 12 y no la existencia de la vida en el cosmos. Lo sea o no, la predicción de Hoyle ilustra mucho el razonamiento detrás del principio.

En mi propia investigación en astrobiología he hecho un uso cauteloso del principio antrópico para poder entender un poco más sobre la vida en la Tierra y su posibilidad en otros planetas de la Vía Láctea. Junto con colegas de la Universidad de Innsbruck y del Observatorio de Belgrado hice un análisis de ciertas condiciones que nuestra forma de vida requiere para su existencia y realizamos una serie de simulaciones en computadora para encontrar las regiones de una galaxia como la Vía Láctea que las cumplen. Con este análisis logramos encontrar, al igual que otros autores, una región en forma de anillo dentro del disco de nuestra galaxia y a cierta distancia del centro de la misma, que se conoce como Zona de Habitabilidad Galáctica. Encontramos que el Sol, y por ende la Tierra, se encuentran justamente en esta zona. Cuando comenté mis primeros resultados con algunos colegas me dijeron que había hecho trampa, que ya conocía la distancia del Sol al centro de la galaxia y que ajusté todos los parámetros del modelo para obtener los resultados que quería. Es como resolver un problema cuando ya sabes la solución. En realidad nuestro modelo permitía que el Sol y la Tierra aparecieran en cualquier lugar de la galaxia, pero la zona de mayor probabilidad que encontramos en la simulación es consistente con las observaciones. Se trató de un efecto de selección. Antes de realizar esta investigación si alguien me hubiera preguntado por qué el centro de la galaxia se encuentra a 27 mil años luz de la Tierra hubiera contestado “no lo sé, quizás sea una distancia al azar”. Hoy hasta me aventuraría a decir que es una distancia que permite a observadores como nosotros existir y hacer observaciones. De cualquier forma, el resultado que obtuvimos no fue una predicción sino una post-dicción. Nos dijo lo que ya

sabíamos. Pero tal vez ese es uno de los encantos del principio antrópico: que nos invita a ver lo conocido con nuevos ojos.

### **Bibliografía:**

- Barrow, John; Tipler, Frank, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford University Press 1996.
- Bale, George, “The anthropic principle”, *Scientific American*, diciembre, 1981.
- Deutsch, David, *The Fabric of Reality*, Penguin Books, 1998.
- Fermerlo, Graham, *The Strangest Man*, Basic Books, 2009.