

## Cosmología para secundaria

Juan Tomé  
[cosmologica.amonaria.com](http://cosmologica.amonaria.com)

### Actividad: Desequilibrio termodinámico

#### Contexto

El Sol, nuestra estrella próxima, inunda nuestro entorno de luz cada día y nos enmascara que el universo, esto se ve cualquier noche, es un lugar oscuro salpicado de puntos brillantes, estrellas como el Sol pero más lejanas. Nos bastan los ojos, nuestros detectores de luz, para observar todo eso.

Los buenos emisores de luz son objetos calientes: bombillas, velas, estrellas. Los malos emisores de luz, objetos oscuros, son fríos: el universo que contemplamos por las noches por ejemplo.

Nuestro universo fue caliente al principio pero, desde entonces, la expansión no ha dejado de enfriarlo. Ahora el universo es oscuro porque es muy frío. Pero está salpicado de estrellas y otros potentes emisores de radiación, muy calientes. Hay que reconocer que al contemplar una noche estrellada se tiene delante una especie de enorme, enorme, enorme recipiente muy frío (el universo, la negrura de la mayor parte de la bóveda celeste) que contiene objetos muy calientes mucho más pequeños que él (las estrellas y cualquier otro objeto emisor de luz o, en general, de radiación).

Cuando un sistema tiene unas partes a una temperatura y otras a otra se dice que está en *desequilibrio termodinámico*. Ese es el estado actual de nuestro universo. Esto se ve todas las noches, aunque no todas las noches caemos en la cuenta.

El desequilibrio termodinámico es necesario para que haya flujos de energía, que irán de las partes calientes a las partes frías. Los flujos de energía pueden poner en marcha distintos procesos, generar cambio, hacer que "pasen cosas". Los sistemas en equilibrio termodinámico han alcanzado uniformidad por todas partes, han llegado a un estado estable en el que no puede pasar nada. Son sistemas "muertos". Nuestro universo no es así. Todavía está en desequilibrio, está "vivo". El Sol, nuestra estrella caliente, vierte al universo frío un enorme torrente de energía. La Tierra intercepta una pequeña parte, suficiente para poner en marcha todos los procesos de la vida.

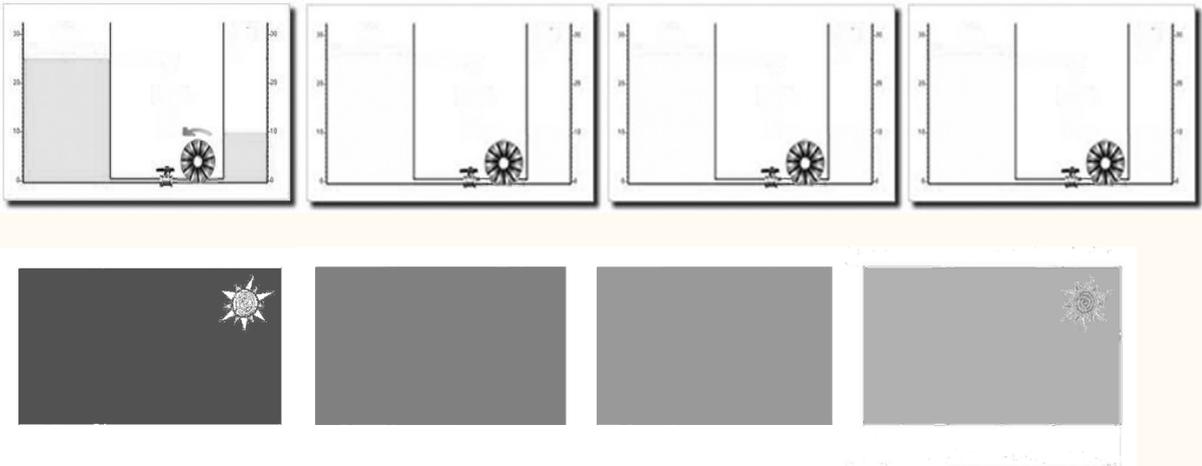
Por eso, que nuestro universo esté en desequilibrio termodinámico es una propiedad cosmológica muy importante y, además, muy fácil de observar.

## Desarrollo de la actividad

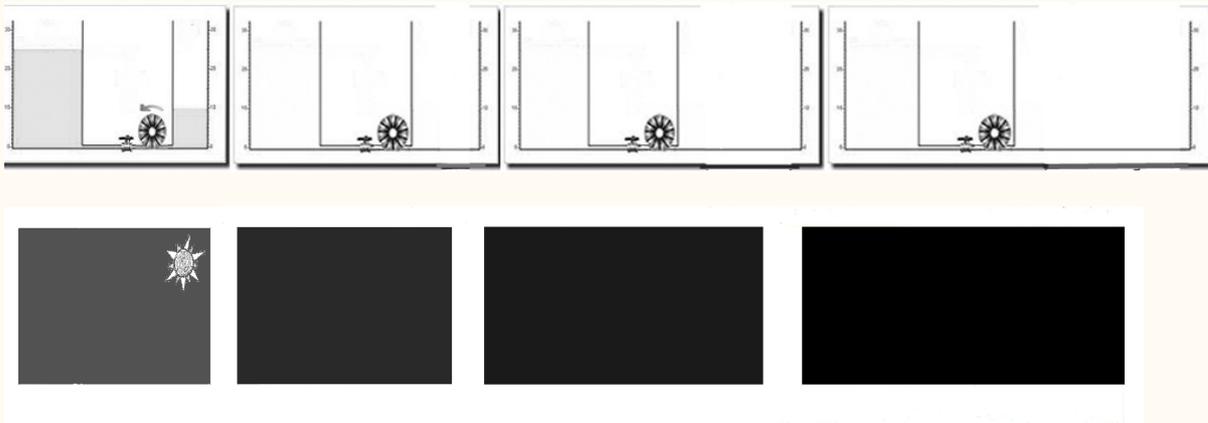
### Parte 1 : Desniveles de agua y desniveles de temperatura

La siguiente primera tira de imágenes representa estados sucesivos de dos depósitos de agua conectados por un tubo que los une por el fondo. El agua pasa de uno a otro. Se aprovecha el paso de agua para mover una miniturbina.

La segunda tira representa estados sucesivos de una enorme caja imaginaria, aislada, que tuviera una estrella dentro. En la viñeta inicial, la temperatura de la estrella es 6000 K y la de la caja 100 K .



- Completar las tres viñetas que faltan en las dos tiras. En la primera, dibujando niveles de agua en los depósitos. En la segunda, dando valores a la temperatura de la caja. (Pensar primero en el estado final y luego completar las dos viñetas intermedias. Suponer que la estrella mantiene la temperatura).
- Hacer lo mismo con las dos tiras siguientes. Ahora, el depósito de la derecha es cada vez más grande. La caja que calienta la estrella también se expande.



## Parte 2 : Expansión y enfriamiento

Nuestro universo se está expandiendo. La expansión ha sido la causa del enfriamiento. Sin expansión, nuestro universo se habría mantenido en el estado inicial caliente, el estado Big bang.

- a) Comprobar que cuando se expulsa aire con la boca abierta el aire sale caliente, debido a la temperatura corporal. En cambio, si se sopla, es decir, si se mantiene la boca hinchada con aire comprimido dentro y se deja escapar por un hueco pequeño formado por los labios, sale frío.
- b) Comprobar que si se deja salir durante un tiempo el gas comprimido en un recipiente metálico (cualquier insecticida de spray por ejemplo) el enfriamiento del recipiente es notable.
- c) Explicar ambos hechos en términos de enfriamiento por expansión.

## Parte 3 : Expansión y pasado del universo

Las estrellas emiten al universo enormes cantidades de energía y hay innumerables estrellas en el universo. Sin embargo, la temperatura del universo es 2'7 K, esto es, sólo 2'87 grados por encima del cero absoluto, – 270'3 grados centígrados. Por eso es oscuro y está salpicado de estrellas brillantes.

Hay tres explicaciones lógicas posibles para este hecho experimental:

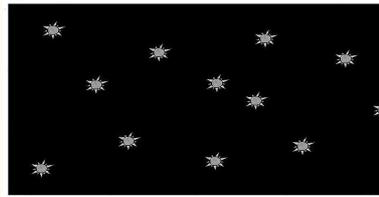
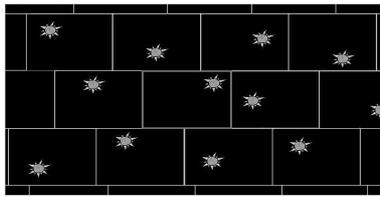
- La primera, que aunque la energía que emiten las estrellas es mucha, hay muy pocas en relación con el tamaño del universo y lo calientan muy poco, muy lentamente.
  - La segunda, que no ha pasado tiempo suficiente para calentarlo más.
  - La tercera, que el universo se está expandiendo y las estrellas no dan abasto para calentarlo.
- a) Decir razonadamente cuál de estas tres explicaciones es compatible con el modelo Big bang, que describe un universo caliente en su estado inicial y que luego se va enfriando.

## Parte 4 : Expansión y futuro del universo

- a) Razonar sobre la evolución de la temperatura del universo en el futuro, suponiendo que en este momento cesara su expansión.
- b) Razonar sobre la evolución de la temperatura del universo en el futuro, aceptando que, como se deduce de distintas observaciones, seguirá expandiéndose y que, además, lo hará cada vez más deprisa.

## Comentarios didácticos

En la primera parte de la actividad, se pretende ilustrar la idea de que la temperatura (como “nivel de energía” en analogía con el nivel de agua) es la magnitud que determina el equilibrio termodinámico, independientemente del tamaño de los sistemas. Cuando el recipiente final se expande, el equilibrio puede no alcanzarse. Al trasladar la analogía al universo (las estrellas serían el depósito con nivel más alto y el universo sería el recipiente con nivel más bajo), el problema que surge es que no hay en el universo nada parecido a paredes de recipientes. Los alumnos no ven manera de que el “nivel” (de lo que sea) suba o baje en algo ilimitado.



El mejor modo de razonar para salvar esta objeción es mostrar que se podría considerar el universo dividido en cajas, tan grandes como se quiera, razonar sobre que lo que sucedería en una caja, mostrar que todas las cajas serían equivalentes y luego, mentalmente, quitar las paredes de las cajas.

Las “miniturbinas” en los dibujos de vasos comunicantes sirven para poner la base de una idea general muy interesante: que siempre que exista un desequilibrio (sea del nivel del agua, sea de temperatura o de cualquier otro tipo), la evolución del sistema puede poner en marcha procesos que aprovechan los flujos de materia o de energía que se producen al avanzar hacia el equilibrio. Si hubiera una fuente de materia (un grifo por ejemplo alimentando el recipiente grande) o de energía (reacciones nucleares en el caso de las estrellas) el desequilibrio podría mantenerse y los procesos continuar. La idea es importante porque el planeta Tierra es un sistema así. El flujo de energía solar, posible por el desequilibrio termodinámico entre Sol y universo (la temperatura externa del Sol es 5800 K y la del universo es 2,7 K), mantiene todos los procesos de la vida en la Tierra.

La segunda y la tercera parte son importantes para argumentar que la expansión ha sido la causa del enfriamiento. El enfriamiento hizo posible la formación de estructuras como las estrellas conduciendo al estado de desequilibrio termodinámico actual, que pone en marcha “miniturbinas” como las de la vida en la Tierra. Expansión, noches estrelladas y vida quedan así conectadas.

## Bibliografía

Harrison, E., 1987, “Darkness at night”, Harvard University Press.

Sneider, E.y Sagan, D., 2005, “Termodinámica de la vida”, Ed Tusquets, Barcelona, 2008.

Tomé, J. 2012, Cosmología para secundaria, Publicaciones ApEA, Antares Ed.