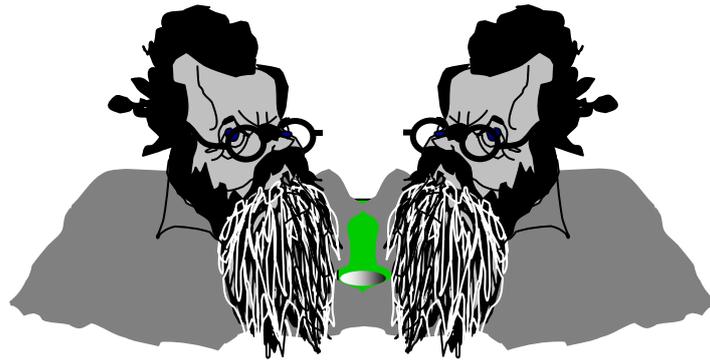


LA TERMODINÁMICA DEL UNIVERSO Y LA VIDA

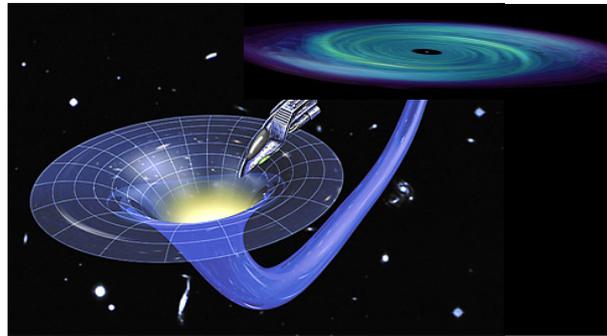


Al finalizar el siglo XIX todos creían que muy poco quedaba por hacer en la física. Que con los últimos avances en la teoría electromagnética de Maxwell y, sobre todo en termodinámica, todo fenómeno físico, químico o biológico podía encontrar una explicación científica inteligible en el marco de las teorías conocidas. Vamos, que la aventura científica de la física había llegado a su fin. Y claro, no fue así en absoluto. Ahora todos sabemos que, esperando en el almacén del futuro, dispuestas a emerger vivitas y coleando y muy guerreras, había dos nuevas teorías que habrían de cambiar nuestras concepciones de la realidad de forma drástica: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica. Esta es una historia muchas veces contada y de muchas formas. No viene al caso hacerlo otra vez. Sí podríamos preguntarnos qué fue de la termodinámica, aquella ciencia al parecer acabada y hasta podría decirse que difunta. A ciertos aspectos de la termodinámica dedicaremos este ensayo para demostrar que tampoco estaba todo dicho en esta ciencia, ni mucho menos.

Y donde más claramente se ha visto que el edificio teórico de la termodinámica no estaba en modo alguno acabado ha sido precisamente en la llamada cosmología relativista y en el problema de la vida, dos de los temas en los que estamos más interesados en la Estación.

Veamos. Cuando hace unos veinte años uno de nosotros impartió una charla científica sobre agujeros negros en la sala de

conferencias de una institución científica oficial, muy seria y prestigiosa, se encontró con un verdadero rechazo matizado de chanzas tales como: “¿Es esta tu última poesía?” o con frases lapidarias del tipo: “¡Los agujeros negros no existen. No son más que especulaciones de los teóricos!” Ahora, cuando la evidencia científica posiblemente haya convertido a aquellos bromistas y sesudos guardianes de lo convencional, si aún viven, en los mayores defensores de la existencia de los agujeros negros, estos han hecho que la termodinámica de finales del siglo XIX no sea sino la mitad o menos de la verdadera termodinámica. Me explicaré.



Ya para cuando se perdió Cuba los grandes de la termodinámica Clausius, von Helmholtz y Boltzmann habían sublimado y refinado uno de los conceptos más elegantes y fructíferos, a la vez que obtruso, de todo el pensamiento humano: la entropía. Aunque puede definirse de distintas formas, con fórmulas o conceptos, incluyendo el ser una medida del desorden de un sistema o de la incapacidad de este de poder mostrarse a un observador externo en todos sus detalles, la entropía constituye en realidad el primer gran límite encontrado por el hombre en su capacidad de conocer.



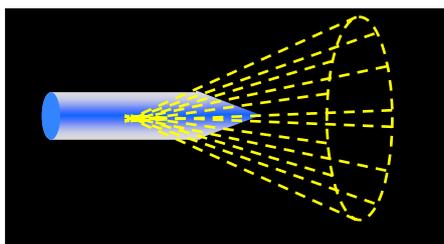
Luego seguirían otros: la velocidad de la luz, la constante de Planck, etc. La cuestión en definitiva es que cuanto más irreconocible sea la constitución íntima de un sistema, tanto mayor será su entropía. Es aquí donde los agujeros negros entran en escena.



En efecto, un agujero negro no es más que una región del espacio, delimitada por una superficie más o menos esférica (conocida como ‘horizonte de sucesos’), donde hay tal concentración de materia que su atracción gravitatoria hace que cualquier objeto que polule por los alrededores sea engullido por el agujero, no permitiendo que nada de lo que haya en su interior, ni la luz siquiera, pueda escaparse al exterior. Así pues, un observador externo nada puede saber de lo que se cuece en el interior de un agujero negro ya que este no permite que ninguna información salga al exterior del mismo. Es fácil darse cuenta entonces de que un agujero negro es en realidad el sistema que posee la máxima entropía, en efecto una entropía infinita, y de que el origen de esta entropía es puramente gravitatorio. No tiene nada que ver ni con el calor ni con la temperatura de los sistemas térmicos constituidos por materia ordinaria que había considerado la termodinámica hasta ese momento.

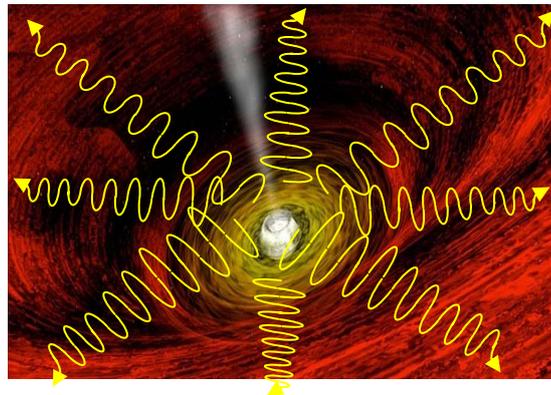


Fue el físico hebreo Jacob Bekenstein el primero que se dio cuenta, allá por el año 1973, de que, si se tienen en cuenta los efectos producidos por la mecánica cuántica, la entropía de un agujero negro, aunque muy grande, nunca puede ser infinita. Y es que en verdad no existen infinitos en el universo. Si alguna teoría los predice, los físicos inmediatamente sospechan que la teoría en cuestión es incompleta o tiene alguna dificultad importante. Fue también Bekenstein el que dio el paso clave en la generalización de la termodinámica de los grandes físicos del siglo XIX. Arguyó que, puesto que la entropía de un agujero negro es finita y tiene un origen esencialmente diferente (gravitatorio y cuántico) al de la entropía clásica de Clausius, von Helmholtz y Boltzmann, y los agujeros negros proliferan en el universo, la definición de la entropía debía ser extendida de forma que esta sea la suma de la entropía de la termodinámica clásica más la del conjunto de sistemas gravitatorios que posean horizontes como los agujeros negros. Al resultado de esta suma se le denomina ‘entropía generalizada’.

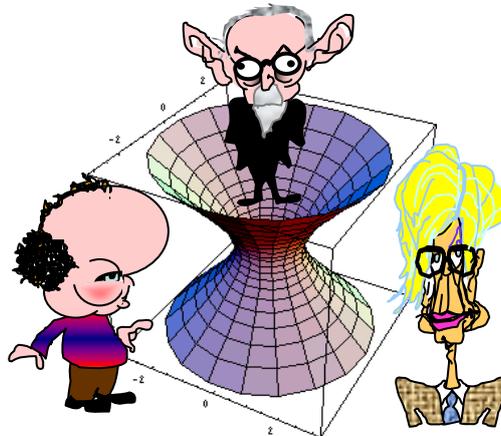


Fue Stephen Hawking el que realizó todos los cálculos detallados y descubrió que la entropía de un agujero negro es proporcional al área de su superficie más o menos esférica. También descubrió que los agujeros negros no estaban completamente fríos sino que poseían una temperatura que era tanto mayor cuanto menor fuera el agujero negro y que por ello continuamente radiaban. Estos descubrimientos representaron la confirmación de lo predicho por

Bekenstein y pusieron de manifiesto que la termodinámica no estaba ni mucho menos difunta.



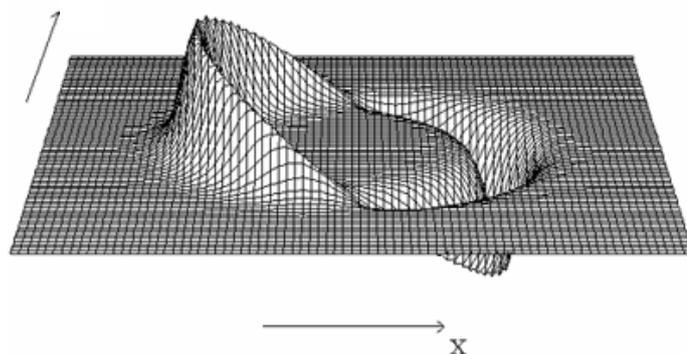
Hasta aquí, la historia tampoco es tan novedosa. En realidad, la atracción que ejerce el misterio que entrañan los agujeros negros en mucha gente ha hecho que el anterior sucedido sea también bastante popular. No lo es tanto sin embargo la descubierta por parte de Stephen Hawking y Gary Gibbons de que lo mismo que ocurre con la entropía de un agujero negro pasa también con un universo vacío llamado universo de Sitter.



Pero lo más sorprendente y no por ello menos espectacular o más conocido es que existan soluciones de naturaleza cosmológica (es decir, que describen a un universo entero) para universos llenos de objetos y seres vivos donde se ha demostrado también que la termodinámica que rige todos los procesos está asimismo generalizada como en el caso de un agujero negro o un universo vacío de Sitter. La cosa llega a ser incluso más espectacular y sorprendente si nos fijamos en el origen de este universo lleno de materia y actividad vital. Vayamos por partes.

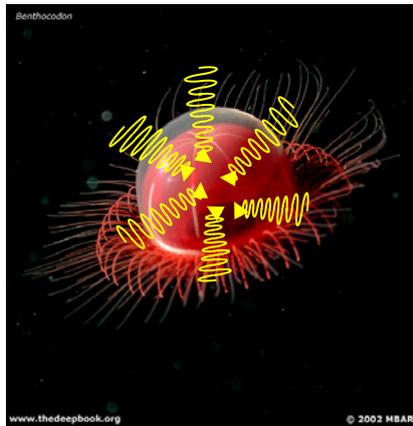
En primer lugar invitamos al lector de este ensayo a recordar sus ratos de ocio sentado cómodamente frente a su televisor, asombrándose con algún episodio de la popular serie de ciencia ficción Star Trek en el que los protagonistas son capaces de viajar a velocidades superiores a la de la luz, utilizando los llamados “warp drives”.

‘Pura ciencia ficción’, dirá el lector. Bueno. Claro que lo es en el caso de los episodios de la serie, pero desde hace ya algunos años existen y se investigan afanosamente soluciones de las ecuaciones de Einstein de la relatividad general que tienen las propiedades de un warp drive. Basta con situar a una nave tripulada en un espacio que se expande detrás de la nave y se contrae delante. Incluso si no tiene motor o si lo tiene apagado dicha nave y su tripulación viajarán entonces a una velocidad aparente que puede superar la de la luz. En este último caso, se ha podido demostrar que el interior de la nave adquiere una entropía gravitatoria y que la nave se llena de radiación térmica. Cuanto mayor es la velocidad de la nave menor resulta ser el valor de la entropía y más se calienta. Un caso que, análogamente al de un agujero negro, representa de nuevo una generalización del concepto de entropía, esta vez la más universal y completa.



Más increíble aún es sin duda el hecho, también demostrado con fórmulas y concepciones puramente científicas, de que el interior de la nave es en todo equivalente a un universo tan repleto de objetos y seres vivos como se quiera, incluyendo agujeros negros. La entropía del sistema será entonces la suma de la que corresponde a dichos seres vivos y objetos más la entropía

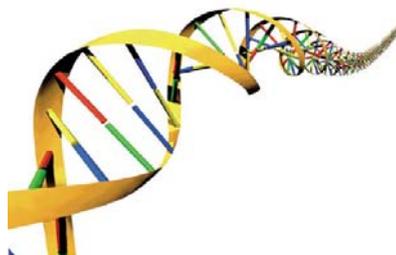
gravitatoria del warp drive. Tal vez nuestro universo no sea sino uno de tales warp drives con su termodinámica generalizada.



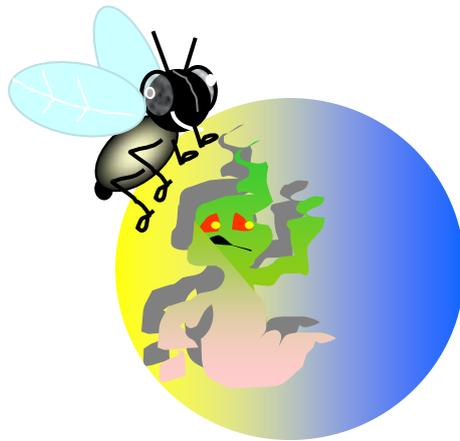
Decíamos que otro de los grandes avances de la termodinámica durante los siglos XX y XXI se refiere a la propia concepción de la vida y su origen. La gran conexión entre vida y termodinámica fue realizada por el gran erudito y genial físico austriaco Edwin Schrödinger en su libro “¿Qué es la vida?”,



el cual recogía una serie de conferencias dictadas en Dublín que establecieron las bases de la moderna biología molecular y cambiaron realmente el rumbo de nuestras concepciones sobre el origen de la vida.



Pero lo que a nosotros nos interesa mayormente de este maravilloso libro es una conclusión clave que aún hoy en día parece inevitable: que cualquier organismo viviente se alimenta de “entropía negativa”. Tal aseveración conduce de una forma u otra a la siguiente cuestión clave: Para que un elemento vital haga su primera aparición en el universo es preciso que el lugar en el que aparezca esté en condiciones de proveer de forma inmediata un aporte suficiente de entropía negativa de tal manera que la incipiente vida pueda prender y continuar, toda vez que en este caso el “huevo precede a la gallina”. Así, pues los organismos vivientes están constituidos por energía positiva, la vida original sólo pudo consolidarse si la energía que mantiene la expansión acelerada del universo está en la forma de energía “fantasma”. En efecto, se ha demostrado que esta energía fantasma está caracterizada por aportes de entropía negativa y es la forma de energía más en consonancia con los datos obtenidos en las observaciones astronómicas.



Parece pues que la existencia de la entropía negativa, la cual era absolutamente impensable a finales del siglo XIX, y que sólo la mecánica cuántica hace posible, representa otra generalización de la termodinámica. Una generalización tan fundamental que sin ella no sería posible la vida en el universo. Y pudiera haber incluso más ya que hay quien piensa que la propia estructura de la mecánica cuántica guarda un cerrado paralelo con el de la termodinámica y su contenido estadístico pudiera ser realmente equivalente al de la mecánica estadística.

Así pues, aunque muchos ya le preparaban el certificado de defunción, la termodinámica está aún vivita y coleando, ¡y de qué manera!

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren dedicar este ensayo a José Antonio Cabezas Sánchez por su apoyo y visión de futuro.

REFERENCIAS

- S.W. Hawking, *Breve historia del tiempo* (Planeta, Barcelona, 1988)
- J.D. Bekenstein, *Physical Review D*7, 2333 (1973)
- G.W. Gibbons and S.W. Hawking, *Physical Review D*15, 2738 (1977)
- M. Alcubierre, *Classical & Quantum Gravity* 11, L93 (1994)
- P.F. González Díaz, *Superluminal warp drives*, *Physics Letters. B* (en prensa, 2007).
- E. Schrödinger, *¿Qué es la vida?* (Espasa Calpe, Buenos Aires, 1947)
- P.F. González Díaz and C.L. Sigüenza, *Nuclear Physics B*697, 363 (2004)