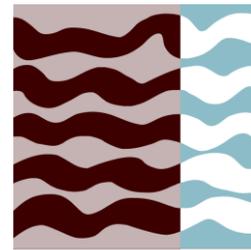


# Termodinámica

Ingeniería agrónoma grado en hortofruticultura y  
jardinería



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**ETSIA**  
Cartagena

Jorge Cerezo Martínez y Elena Meroño Esparza

# Índice

1. Prólogo.....	Pág. 3
2. Introducción a la termodinámica.....	Pág. 4
3. Teorías.....	Pág. 5-7
4. La termodinámica del universo y la vida.....	Pág. 8-11
5. Conclusión.....	Pág. 12
6. Bibliografía.....	Pág. 13

## 1. Prólogo

A veces resulta difícil el estudio de la termodinámica, por ello hemos pensado que la mejor forma de desarrollar nuestro trabajo era exponer de forma clara y concisa las principales teorías y conceptos que recoge la termodinámica, además de pequeñas descripciones de algunos hombres de ciencia que ayudaron a promover la evolución de esta rama de la física hasta las teorías de las que hoy disfrutamos. Creemos que así la asimilación de los conceptos será más fácil para todo aquel que quiera tener una visión general de la termodinámica.

A continuación profundizamos en otros conceptos de la termodinámica más alejados de lo puramente académico, nos pareció una postura a tener en cuenta y desde el punto de vista científico apasionante, más si a todo ello le sumamos las teorías relativista y cuántica.

## 2. Introducción a la termodinámica

**Termodinámica**: (del griego θερμο-, termo, que significa "calor" y δύναμις, dínamis, que significa "fuerza") es una rama de la física que estudia los efectos de los cambios de magnitudes de los sistemas a un nivel macroscópico. Constituye una teoría fenomenológica, a partir de razonamientos deductivos, que estudia sistemas reales, sin modelizar y sigue un método experimental. Con ella están relacionados los conceptos de temperatura, calor y energía interna que procederemos a definir:

- **Temperatura**: Magnitud escalar relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "energía sensible", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida de que sea mayor la energía sensible de un sistema, se observa que éste se encuentra más "caliente"; es decir, que su temperatura es mayor.
- **Calor**: Es la transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.
- **Energía interna**: Supone un reflejo de la energía a escala microscópica y se representa como la suma de:
  - Energía cinética
  - Energía potencial

La energía interna no incluye la energía cinética traslacional o rotacional del sistema como un todo. Tampoco incluye la energía potencial que el cuerpo pueda tener por su localización en un campo gravitacional o electrostático externo.

Todo cuerpo posee una energía acumulada en su interior equivalente a la energía cinética interna más la energía potencial interna.

Si pensamos en constituyentes atómicos o moleculares, será el resultado de la suma de la energía cinética de las moléculas o átomos que constituyen el sistema (de sus energías de traslación, rotación y vibración), y de la energía potencial intermolecular (debida a las fuerzas intermoleculares).

- **Gas ideal monoatómico**: bastará con considerar la energía cinética de traslación de sus moléculas.
- **Gas ideal poliatómico**: deberemos considerar además la energía vibracional y rotacional de las mismas.
- **Líquido o sólido**: deberemos añadir la energía potencial que representa las interacciones moleculares.

### 3. Teorías

#### 3.1. Principio cero

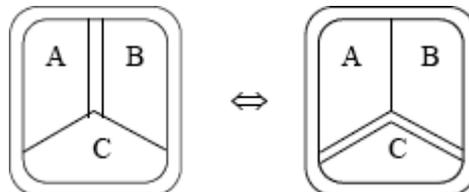


Ludwig Edward Boltzmann  
(Viena, 1844 - Decino, 1906)

En 1884, Boltzmann dedujo, a partir de los principios de la termodinámica, la ley empírica de Stefan, formulada en 1879, según la cual la pérdida de energía de un cuerpo radiante es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura superficial, y demostró que ésta sólo se cumplía si el cuerpo radiante era un cuerpo negro. En la década de 1870 cuando Boltzmann publicó los artículos donde exponía cómo la segunda ley de la termodinámica se puede explicar aplicando las leyes de la mecánica y la teoría de la probabilidad a los movimientos de los átomos. Fue también claro precursor de la teoría cuántica.

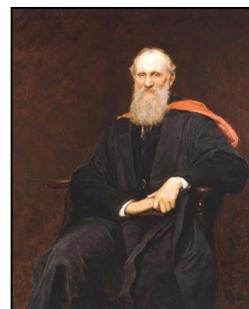
Si dos sistemas se encuentran en equilibrio térmico con un tercer sistema, los dos sistemas se encuentran en equilibrio entre sí.

El principio cero de la termodinámica, que es un principio experimental, demuestra que la relación entre dos sistemas que se encuentran en equilibrio térmico es una relación transitiva. Esto es, si A está en equilibrio térmico con C, y B con C, entonces A está en equilibrio térmico con B. Esta propiedad transitiva es necesaria para definir la temperatura. Por tanto, podemos decir que, dos sistemas en equilibrio térmico uno con el otro están a la misma temperatura.



#### 3.2. Primer principio

En un sistema cerrado adiabático que evoluciona de un estado inicial A a otro estado final B, el trabajo realizado no depende ni del tipo de trabajo ni del proceso seguido. Dicha enunciación se descompone de dos partes:



William Thomson, primer barón Kelvin  
(Belfast, 1824 - Netherhall, 1907)

Consolidó el primer principio de la termodinámica junto a James Prescott Joule y asentó las bases del segundo principio; además determinó el cálculo del cero absoluto, temperatura mínima alcanzable por la materia en la cual las partículas quedan inertes.

- Principio de la accesibilidad adiabática: El conjunto de los estados de equilibrio a los que puede acceder un sistema termodinámico cerrado es, adiabáticamente, un conjunto simplemente conexo.
- Principio de conservación de la energía: El trabajo de la conexión adiabática entre dos estados de equilibrio de un sistema cerrado depende exclusivamente de ambos estados conectados.

Se define entonces la energía interna,  $U$ , como una variable de estado cuya variación en un proceso adiabático es el trabajo intercambiado por el sistema con su entorno.

$$\Delta U = W$$

Cuando el sistema cerrado evoluciona del estado inicial A al estado final B pero por un proceso no adiabático, la variación de la energía debe ser la misma, sin embargo, ahora, el trabajo intercambiado será diferente del trabajo adiabático anterior.

$$\Delta U = Q + W$$

Q Es el calor intercambiado por el sistema  
W Es el trabajo intercambiado

$\Delta U$  Es la variación de energía del sistema

### **3.3. Segundo principio**

La cantidad de entropía del universo tiende a incrementarse en el tiempo.

Es una de las leyes más importantes de la física. Tomando al universo como sistema aislado se puede concluir que el mismo tiende al desorden o entropía. La segunda ley de la termodinámica dictamina que si bien, la materia y la energía no se pueden crear ni destruir si se transforman en otras cosas que cada vez son más inútiles para generar trabajo en un sistema, verbi gratia: en un sistema que pasa de un estado de equilibrio A a B, la cantidad de entropía en el estado de equilibrio B será máxima (mayor a la del estado de equilibrio A), no obstante, la cantidad de materia y energía del sistema en ambos estados será siempre la misma sin importar el desorden que tengan los mismos. Es así como la Segunda ley de la Termodinámica se ha utilizado para explicar el fin del universo.



Rudolf Julius Emmanuel Clausius  
(Koszalin, actual Polonia, 1822-Bonn, 1888)

En 1850 enunció el segundo principio de la termodinámica como la imposibilidad de flujo espontáneo de calor de un cuerpo frío a otro de caliente, sin la aplicación de un trabajo externo. En 1865 introdujo el término entropía.

La única solución a esto es identificar la entropía con el logaritmo del número de microestados posibles.

$$S = K_b \ln \Omega$$

$K_b$  Es la constante de Boltzmann (J/K)

$\Omega$  Es el número de microestados

S Es la entropía



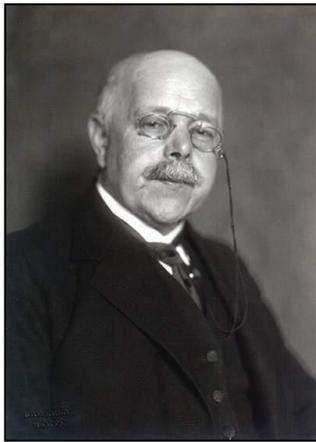
Nicolas Léonard Sadi Carnot  
(París, 1796-id., 1832)

Describió el ciclo energético de una máquina idealizada, cuyo rendimiento depende únicamente de las temperaturas inicial y final de la sustancia que impulsa la máquina (vapor o cualquier otro fluido), con independencia de la naturaleza de la misma.

### 3.4. Tercer principio

Afirma que no se puede alcanzar el cero absoluto en un número finito de etapas. Sucintamente, puede definirse como:

- Al llegar al cero absoluto, 0 K, cualquier proceso de un sistema físico se detiene.
- Al llegar al cero absoluto la entropía alcanza un valor mínimo y constante.



Walther Hermann Nernst  
(Briesen, 1864 - Ober-Zibelle, 1941)

En 1906, como consecuencia de numerosos estudios suyos, enunció el tercer principio de la termodinámica que lleva su nombre. Aplicó la teoría de Planck para explicar los fenómenos del calor específico, e hizo esta aplicación casi al mismo tiempo que Einstein y que el holandés Peter Debye. Fundamental es también su teoría osmótica de la pila galvánica.

La tercera ley indica que la entropía de una sustancia pura en el cero absoluto es cero. Por consiguiente, la tercera ley provee de un punto de referencia absoluto para la determinación de la entropía. La entropía relativa a este punto es la entropía absoluta.

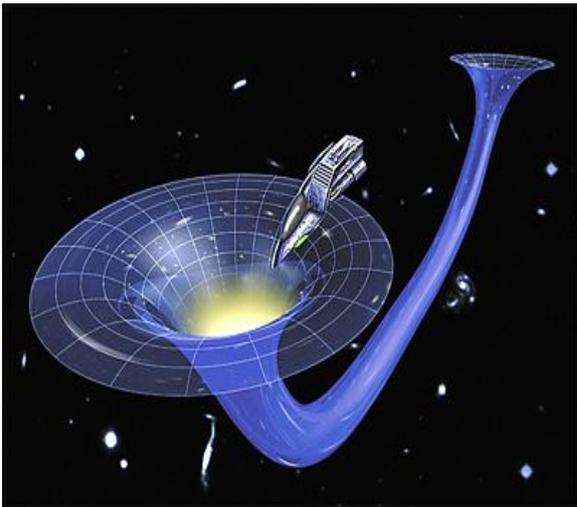
Un caso especial se produce en los sistemas con un único estado fundamental, como una estructura cristalina. La entropía de un cristal perfecto definida por el teorema de Nernst es cero (dado que el  $\log(1) = 0$ ). Sin embargo, esto desestima el hecho de que los cristales reales deben crecer en una temperatura finita y poseer una concentración de equilibrio por defecto. Cuando se enfrían generalmente son incapaces de alcanzar la perfección completa. Esto, por supuesto, se mantiene en la línea de que la entropía tiende siempre a aumentar dado que ningún proceso real es reversible.

## 4. 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. En otras palabras, parecía 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, 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.

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.

Cuando se impartió una charla científica sobre agujeros negros 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 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.



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 abstruso, 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.

Entropía lo podemos definir a términos científicos como la magnitud física que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo.

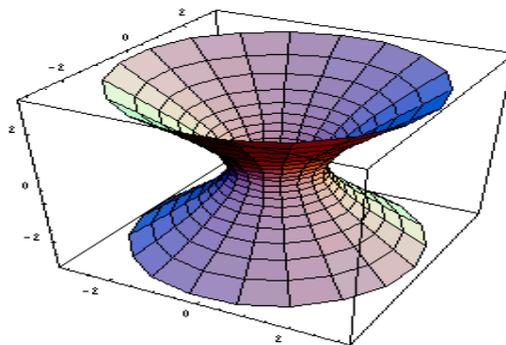
Luego seguirían otros: la velocidad de la luz, la constante de Planck, etc. La cuestión en definitiva es que cuanto más irreconocible sea la constitución íntima de un sistema, tanto mayor será su entropía. Es aquí donde los agujeros negros entran en escena.

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 se encuentre 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 sucede 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 acabada.

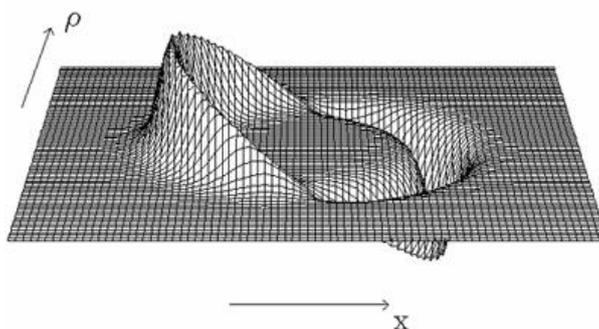
Hasta aquí, la historia tampoco es tan novedosa. En realidad, la atracción que ejerce el misterio que entrañan los agujeros negros en mucha gente ha hecho que el anterior sucedido sea también bastante popular. No lo es tanto, sin embargo, la descubierta por parte de Stephen Hawking y Gary Gibbons de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

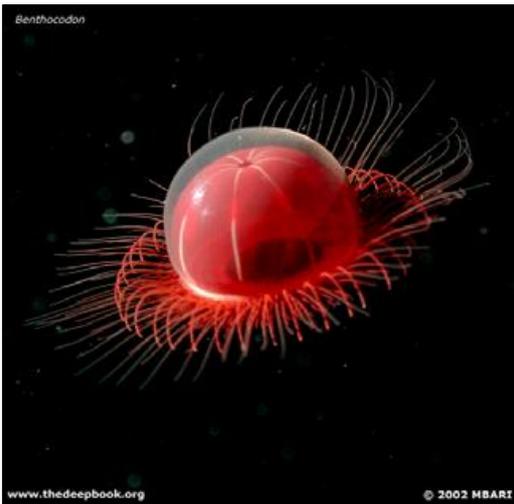


Pero lo más sorprendente y no por ello menos espectacular o más conocido es que existan soluciones de naturaleza cosmológica (es decir, que describen a un universo entero) para universos llenos de objetos y seres vivos donde se ha demostrado también que la termodinámica que rige todos los procesos está 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.

Ideas que parecen sacadas de la ficción, 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.

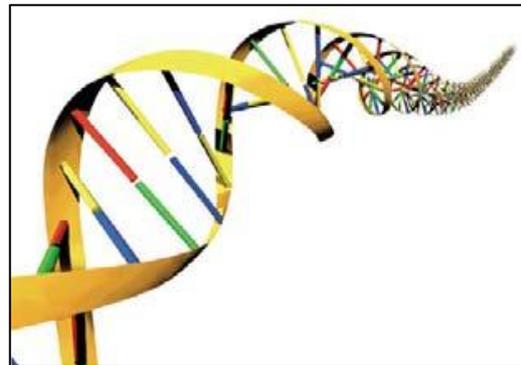
$$\vartheta = -\alpha \text{Tr}(K)$$





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 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 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.

## 5. Conclusión

Es notorio que la evolución de la ciencia va pareja a la evolución de la mentalidad del ser humano, y aunque siempre se ha estudiado la termodinámica, la física y en general la ciencia a través de simples teorías y problemas, nos gustaría mostrar el deseo de una concepción distinta, que encierre todas aquellas teorías, todas aquellas inquietudes que motivaron a hombres como Carnot a formular experiencias de las que hoy disfrutamos, y, aunque al final, no lo conseguimos del todo nuestro propósito no deja de ser una de nuestras constantes a perseguir en el futuro.

En las carreras técnicas y en general todas las universidades enfocan el estudio a través de la resolución de una batería de ejercicios o la enunciación de cantidades ingentes de teorías, postulados, corolarios. Una información sin fin, vacía de real experiencia, vacía de pasión e iniciativa para el alumno. Muchos creen que la letra con sangre entra, y efectivamente, entra, pero con un recelo y un odio que sólo sirve para escupirlo llegado el examen y olvidar cuanto antes.

La física puede ser también enriquecedora para la vida, una bella experiencia permanente y no sólo un infortunio pasajero, fomentemos la pasión por la vida y lo que ella nos ofrece, con mayor o menor acierto, no creemos más cabezas-biblioteca pues para eso están los libros; el hombre nació para pensar, no para almacenar, y si bien la memoria es necesaria, pero el pensamiento ha de ser, en todo momento, la base de su fe personal.

Quizá, tenga más riqueza el camino por el cual los prohombres consiguieron sus éxitos que los éxitos en sí mismos.

En otro orden acabaremos diciendo que sentimos profundamente la extensión del trabajo, pero creemos que no sobra información alguna, la síntesis que realizamos fue lo más rigurosa posible para que fuera no sólo un trabajo, sino una pequeña investigación con información útil, y lo más importante, utilizable.

## 6. Bibliografía y referencias

### Bibliografía

- Física. Paul A. Tipler, Editorial Reverté S.A. (1976), ISBN 84-291-4177-4
- Zemansky, Mark W. (1985). *Calor y termodinámica*. ISBN 84-85240-85-5.
- Callen, Herbert B. (1985). *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*.

### 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)