

De la termodinámica en equilibrio a

Mariano López de Haro

Centro de Investigación en Energía,
UNAM
Miembro de la Academia de
Ciencias de Morelos

¿Qué son los procesos irreversibles y por qué estudiarlos? Un proceso irreversible es aquel que no regresa a su punto de partida; prácticamente todos los fenómenos que observamos a nuestro alrededor tienen esa característica, incluido el desarrollo de nuestra vida.

Tomemos, por ejemplo, un globo, inflémoslo con aire a presión y sujetémoslo evitando que dicho aire salga por su boquilla (ver figura 1). El globo inflado está a la vez, rodeado por el aire de la atmósfera. Si soltamos la boquilla observaremos que el globo se desinfla. Pero ¿por qué no entra más aire y se infla aún más? El hecho de que el globo se desinfla, se debe a la diferencia de presiones. Dentro del globo hay una presión mayor a la del exterior. Es decir, se presenta una salida o un flujo de masa de aire del globo hacia afuera provocado por esta diferencia de presión. Y tal proceso, como muchos otros fenómenos que ocurren cotidianamente, no es reversible.

Para entender cómo ocurren todos estos fenómenos se requiere saber termodinámica, cuyos objetos de estudio son sistemas físicos macroscópicos, como un líquido en un recipiente, un imán, una cavidad con radiación, un motor, etcétera. Esa disciplina se concentra en los estados de equilibrio, es decir, aquéllos donde las atributos macroscópicos del sistema, como la presión, la temperatura, la magnetización, el volumen o la presión de radiación, no dependen del tiempo y, además, si tuviéramos gravedad cero, tampoco dependerían de la posición. Se trata de un área clásica, que dejó de estar de moda por ser decimonónica, debido a que el siglo XX fue profuso en descubrimientos que revolucionaron a la física y nos adentraron en el estudio sistemático del



Figura 1. Cuando permitimos que salga el aire de un globo inflado, se produce un proceso irreversible.

mundo microscópico.

La termodinámica clásica, emanada fundamentalmente de evidencia experimental, solamente tiene cuatro leyes. De hecho, por razones históricas las leyes se numeraron del cero al tres. La ley "cero" (que se desarrolló en el siglo XX, entre 1909 y 1930) es la que garantiza la existencia de estados de equilibrio entre cuerpos. Así pues, cualquier sistema termodinámico—es decir la porción del universo que aislamos para su estudio— que permanece en contacto con sus alrededores alcanza eventualmente un estado en el que sus atributos macroscópicos, no cambian con el tiempo y, en particular, la temperatura del sistema y los alrededores se iguala, es decir, en los estados de equilibrio la temperatura del sistema tiene el mismo valor numérico que la de los alrededores u otros sistemas con los que tiene contacto. Por ejemplo, la temperatura del termómetro en la boca, luego de un tiempo, se iguala con la del cuerpo y se puede tomar la lectura porque ese instrumento está graduado. La ley cero en realidad define la temperatura y permite la construcción del instrumento que llamamos termómetro.

La Primera Ley de la Termodinámica expresa el principio de conservación de la energía durante un proceso y se puede entender haciendo una analogía con un balance contable. Considérese por ejemplo una cuenta corriente de un banco que tenga una chequera y en la cual exista un monto de dinero inicial. El monto final de la cuenta en un periodo dado dependerá del monto de dinero de los cheques emitidos o ingresados y de las cantidades en efectivo retiradas o ingresadas. En el caso termodinámico, el sistema puede intercambiar energía con sus alrededores, la cual puede ser mediante trabajo (mecánico, químico, magnético, eléctrico, etc.) o calor. La analogía consiste en identificar a otra variable termodinámica, la energía interna del sistema, con el monto inicial existente en la cuenta, a

La Unión
DE MORELOS

Av. Vicente Guerrero 777, colonia Tezontepec
Cuernavaca • Morelos

Para solicitar
suscripciones, información de tarifas,
eventos sociales y demás



MARQUE
los teléfonos
311 • 46 • 31 al 34.

También
estamos en:

www.launion.com.mx





a la de los procesos irreversibles



los cheques con el calor y al trabajo con el dinero en efectivo. En principio los intercambios energéticos pueden efectuarse en cualquier sentido. Sin embargo esto no es así. Siguiendo con la analogía, es evidente que siempre es posible transformar todo el dinero en efectivo en

cheques, pero lo recíproco no es cierto (recuérdense los cheques de rebote). En la naturaleza sucede algo similar. Si bien todo el trabajo puede transformarse en calor, lo contrario no ocurre. Nuestras transacciones siempre funcionan con pérdidas. Aquí entra la Segunda Ley, cuya gran

importancia es que establece la existencia de otra variable, llamada entropía.

En el caso de sistemas cerrados, si se determinan el valor de la entropía del estado inicial del sistema y el del estado final en un proceso irreversible, esta última será más grande. Así la Segunda Ley permite determinar la dirección en la que van a ocurrir espontáneamente los procesos, que es aquella en la cual la entropía final del sistema aumenta.

Por último, la Tercera Ley tiene que ver con el comportamiento de los sistemas a bajas temperaturas y señala que la entropía en el cero absoluto 0 K (-273 grados centígrados) o el cambio en la entropía a esa temperatura vale cero. Eso es importante para explicar el calor específico de sólidos y otros fenómenos que ocurren a bajas temperaturas.

Con las leyes anteriores es posible hacer una descripción macroscópica de cualquier sistema termodinámico, siempre y cuando se encuentre en un estado de equilibrio. No obstante, es evidente que no todos los sistemas están en equilibrio; algunos están en transición. Por ejemplo, considérese la siguiente situación. Se tienen un pedazo de metal cerca del punto de fusión del plomo, a 600 K, y una cubeta de agua a 300 K, esto es dos sistemas en equilibrio, pero por separado, y se mete el primero en la segunda ¿qué ocurre?

Además de chisporrotear, si se evita que se vaya el vapor y se espera un tiempo razonable, el metal se enfriará más o menos de acuerdo con la cantidad de agua, y a su vez el agua se calentará, de modo que ambas partes terminarán a la misma temperatura (intermedia entre las dos anteriores) y en estado de equilibrio. Es decir, se empezó con dos sistemas termodinámicos en equilibrio y se acabó con otro sistema, también en equilibrio, que se puede estudiar con las mismas leyes, pero la termodinámica clásica no puede decir cómo se llevó a cabo el proceso. Se requiere entonces de la intervención de la termodinámica de los procesos irreversibles. En esta disciplina existen postulados análogos a las leyes de la

termodinámica cuando no hay equilibrio, válidos bajo ciertas condiciones, que permiten la descripción de sistemas y procesos fuera de equilibrio. No obstante, no se trata de una teoría concluida por completo, ya que son leyes que funcionan en un ámbito restringido, cuando el sistema está bastante cerca del equilibrio y aún la cuestión de qué significa "cerca de equilibrio" es difícil de contestar con precisión. En líneas generales, la idea es relacionar los efectos (el flujo de aire al salir del globo en nuestro ejemplo) con las causas que los provocan (la diferencia de presiones) y a primera aproximación es razonable suponer que el efecto es directamente proporcional a la causa.

En años recientes se ha pensado en establecer generalizaciones, pero aún hay mucho por hacer y puede ser divertido dedicarse a los procesos irreversibles. Quedan retos fascinantes como la posibilidad de definir una entropía fuera de equilibrio, lo que desde luego no es un problema trivial. Existen en el país varios grupos que trabajan estos temas y, en particular en nuestro Estado, los mismos se estudian a través de la colaboración entre el grupo de la Facultad de Ciencias de la UAEM y el del Centro de Investigación en Energía de la UNAM. El logro más significativo de estos esfuerzos es el reconocimiento por parte de la comunidad internacional de la llamada Escuela Mexicana de Termodinámica Irreversible.

CARTELERA CINES

VIGENCIA: DEL VIERNES 22 AL JUEVES 28 DE JULIO DE 2011

CINEMEX VIP GALERIAS

HARRY POTTER 7 3D (SUB) 14:50 / 18:20 / 21:10 Matinee D: 11:40
LOS PINGUINOS DE PAPA (SUB) 13:25 / 16:00 / 18:50 / 21:40 Matinee D: 11:10
HARRY POTTER 7 (SUB) 17:50 / 20:40 (S-D) 12:40
EL GUARDIAN DEL ZOOLOGICO (SUB) 15:30 (S-D) 15:30
MALAS ENSEÑANZAS (SUB) 14:20 / 16:30 / 19:20 / 22:10 (S-D) 12:10

CINEMEX

CARS 2 (DOB) Matinee 10:15
CAMINO A LA LIBERTAD (SUB) 13:45 / 16:25 / 19:10 / 22:30
HARRY POTTER 7: PARTE 2 3D MACRO XE (SUB) 15:00 / 18:00 / 21:00 Matinee 12:00
CARS 2 3D (DOB) 14:20 Matinee 11:40
TRANSFORMERS EL LADO OSCURO DE LA LUNA 3D (SUB) 17:05 / 20:05
HARRY POTTER 7: PARTE 2 (SUB) 13:15 / 16:15 / 19:15 / 22:15
LOS PINGUINOS DE PAPA (DOB) 15:05 / 17:25 / 19:45 / 22:10 Matinee 10:10 / 12:35
CARS 2 (DOB) 19:05 Matinee 12:40
EL GUARDIAN DEL ZOOLOGICO (DOB) 16:30 / 21:35
LOS PINGUINOS DE PAPA (SUB) 14:10 / 16:40 / 19:20 / 21:45 Matinee 11:50
TRANSFORMERS EL LADO OSCURO DE LA LUNA (DOB) 18:55 Matinee 11:35
TRANSFORMERS EL LADO OSCURO DE LA LUNA (SUB) 15:25 / 22:05
MALAS ENSEÑANZAS (SUB) 13:40 / 16:20 / 19:00 / 21:40
EL GUARDIAN DEL ZOOLOGICO (DOB) 15:00 Matinee 12:20
MALAS ENSEÑANZAS (SUB) 17:40 / 20:20
HARRY POTTER 7: PARTE 2 (SUB) 14:00 / 17:00 / 20:00 / 22:35 Matinee 11:00
TRANSFORMERS EL LADO OSCURO DE LA LUNA 3D (DOB) 15:10 / 18:10 / 21:10 Matinee 12:10
HARRY POTTER 7: PARTE 2 (DOB) 13:00 / 16:00 / 19:00 / 22:00
HARRY POTTER 7: PARTE 2 (DOB) 14:30 / 17:30 Matinee 11:30
TRANSFORMERS EL LADO OSCURO DE LA LUNA (SUB) 20:30
HARRY POTTER 7: PARTE 2 3D (DOB) 15:30 / 18:30 / 21:30 Matinee 12:30

CINEMEX DIANA

LOS PINGUINOS DE PAPA ESP 10:00 / 12:00 / 14:00 / 16:00 / 18:00 / 20:00 / 22:00
8 MINUTOS ANTES DE MORIR 18:45 / 20:45 / 22:45
LOS PINGUINOS DE PAPA ESP 10:45 / 12:45 / 14:45 / 16:45
MALAS ENSEÑANZAS 10:55 / 12:55 / 14:55 / 16:55 / 18:55 / 20:55 / 22:55
EL GUARDIAN DEL ZOOLOGICO ESP 10:40 / 12:50 / 15:00 / 17:40 / 19:50 / 22:05
TRANSFORMERS 3 3D ESP 10:30 / 13:30 / 16:30 / 19:40 / 22:40
HARRY POTTER 7 FINAL 3D ESP 11:00 / 13:50 / 16:25 / 19:05 / 21:45
HARRY POTTER 7 FINAL ESP 10:10 / 13:00 / 15:50 / 18:40 / 21:30
HARRY POTTER 7 FINAL 3D ESP 11:20 / 14:10 / 16:50 / 19:30 / 22:20
HARRY POTTER 7 FINAL ESP 11:35 / 14:25 / 17:15 / 20:05 / 22:55
CAMINO A LA LIBERTAD 10:25 / 13:05 / 15:45 / 18:25 / 21:10
HARRY POTTER 7 FINAL ING 10:00 / 12:40 / 15:20 / 18:10 / 20:50
CARS 2 10:05 / 12:25 / 14:50
TRANSFORMERS 3 ESP 17:20 / 20:25

CINEMEX JACARANDAS

TRANSFORMERS 3 3D ESP 12:00 / 15:00 / 18:00 / 21:00
EL GUARDIAN DEL ZOOLOGICO ESP 11:20 / 13:30 / 15:40 / 17:50 / 20:10 / 22:30
HARRY POTTER 7 FINAL 3D ESP 11:00 / 13:55 / 16:40 / 19:30 / 22:20
HARRY POTTER 7 FINAL ESP 10:30 / 13:20 / 16:10 / 19:00 / 21:50
HARRY POTTER 7 FINAL ESP 11:55 / 14:45 / 17:35 / 20:25 / 23:15
TRANSFORMERS 3 ESP 10:50 / 13:50 / 16:50 / 19:50 / 22:50
HARRY POTTER 7 FINAL ESP 11:30 / 14:20 / 17:10 / 20:00 / 22:40
MALAS ENSEÑANZAS 10:40 / 12:45 / 14:50 / 17:00 / 19:10 / 21:00 / 23:00
LOS PINGUINOS DE PAPA ESP 10:55 / 13:05 / 15:15 / 17:25 / 19:35 / 21:45
CARS 2 11:10 / 14:00
LOS PINGUINOS DE PAPA ESP 16:20 / 18:30 / 20:40 / 22:55

CINEMEX CUAUTLA

MALAS ENSEÑANZAS 11:40 / 13:35 / 15:30 / 17:40 / 19:35 / 21:30
HARRY POTTER 7 FINAL 3D ESP 10:40 / 13:10 / 15:45 / 18:15 / 20:45 / 23:15
CAMINO A LA LIBERTAD 11:10 / 14:00 / 16:40 / 19:20 / 22:15
EL GUARDIAN DEL ZOOLOGICO ESP 10:30 / 12:55 / 15:20 / 18:00 / 20:20 / 22:35
HARRY POTTER 7 FINAL ING 12:00 / 14:30 / 17:10 / 20:00 / 22:30
HARRY POTTER 7 FINAL ESP 10:00 / 12:50 / 15:40 / 18:35 / 21:10
HARRY POTTER 7 FINAL ESP 11:20 / 14:10 / 17:00 / 19:50 / 22:40
HARRY POTTER 7 FINAL 3D ESP 11:00 / 13:30 / 16:00 / 19:00
TRANSFORMERS 3 3D ESP 21:30
CARS 2 10:10 / 12:20 / 14:50 / 17:25 / 19:55 / 22:20
TRANSFORMERS 3 ESP 10:20 / 13:15 / 16:20 / 19:10 / 22:00
LOS PINGUINOS DE PAPA ESP 11:30 / 13:50 / 16:10 / 18:30 / 20:50 / 23:00
8 MINUTOS ANTES DE MORIR 19:40 / 21:55
LOS PINGUINOS DE PAPA ESP 12:40 / 15:00 / 17:20

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar:

www.acmor.org.mx