



# NATURALIS

BOLETÍN DE LA COORDINACIÓN DE  
FÍSICA Y QUÍMICA

No. 39

Agosto de 2023

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



## Contenido

### 1 Además de Energía y Entropía: Exergía

Rigel Gámez Leal

### 7 El Capital Humano

Martín Bárcenas Escobar

Salvador Enrique Villalobos Pérez

## Además de Energía y Entropía: Exergía

Para el ingeniero resulta imprescindible el estudio de la naturaleza ya que toda su actividad, en beneficio de la sociedad, se basa en las leyes que la gobiernan. Por ello tiene mucha relevancia la cuantificación de la energía ya que, aun habiendo un debate sobre la forma de definirla con exactitud<sup>1</sup>, sabemos que es “algo” que se conserva y esto es un primer paso cuando se descubre una nueva fuente de energía como por ejemplo un pozo geotérmico, una zona de mucha radiación solar o un pozo petrolero. Lo anterior está asociado a la primera ley de la termodinámica que nos permite cuantificar la “cantidad” de energía.



Figura 1. Pozo geotérmico.

Por otra parte, la propiedad termodinámica llamada entropía, la cual está asociada a la segunda ley de la termodinámica, es otra herramienta sumamente útil al ingeniero ya que aporta información sobre la degradación de energía durante un proceso, algunos autores le llaman a esto “calidad” de la energía. Lo anterior complementa la cantidad de energía descrita en el párrafo anterior; es decir, en el análisis de un proceso termodinámico no solo es suficiente

<sup>1</sup> Véase el número 21 de este mismo boletín publicado en mayo de 2013.

saber que la energía se conserva sino también tomar en cuenta que no vamos a poder aprovechar toda ella, ¡nos guste o no!

Para dispositivos que funcionan de forma esencialmente adiabática (sin intercambio de energía en forma de calor entre el dispositivo y su entorno) se puede afirmar que el mejor comportamiento se presenta cuando operan de forma isoentrópica (entropía constante). De aquí la importancia de considerar un balance de entropía en el proceso que realiza dicho dispositivo.

El análisis a partir del concepto de entropía complementa al balance de energía ya que permite conocer el rendimiento de los equipos basados en condiciones isoentrópicas; esto es, permite cuantificar qué tanto nos alejamos de un proceso reversible (proceso "ideal", omitiendo todas las causas de irreversibilidad). Sin embargo, este análisis presenta un gran inconveniente ya que el estado final del proceso real y el del proceso ideal, con el que se puede comparar, son diferentes. En consecuencia, una aproximación más adecuada sería comparar el proceso real y un proceso óptimo entre los mismos estados extremos.

Históricamente, la calidad de una cantidad dada de energía es la medida de su capacidad para producir trabajo útil. Con base en lo anterior si

esta capacidad se reduce durante un proceso, entonces se dice que la energía se ha degradado lo cual sucede siempre que se trata de un proceso irreversible. La experiencia nos dice que conforme transformemos la energía de una forma en otra, ésta se va degradando irremediablemente.

Por ello, a pesar de considerar que la energía se conserva y que se degrada al transformarla hace falta también saber la disponibilidad de energía que se tenga en un proceso; esto es, el trabajo útil máximo que puede obtenerse del sistema en un estado y un ambiente especificados. Lo anterior se conoce como **exergía** y es una propiedad termodinámica que trataremos de explicar en este escrito.

La creciente necesidad de que la población cuente con un mejor nivel de vida nos ha hecho depender cada vez más de los recursos naturales disponibles; para ello se han utilizado, en forma desmedida, nuestros recursos energéticos. En consecuencia, resulta sumamente necesario manejarlos con el mayor cuidado posible de manera que se tenga un impacto negativo mínimo al medio ambiente.

La segunda ley de la termodinámica complementa a la primera y afirma que no solo es necesario saber la cantidad de energía involucrada en un proceso sino también la

calidad de ésta. En este contexto la palabra calidad se refiere a un conjunto de propiedades inherentes que permite caracterizarla y valorarla con respecto a las restantes de su especie por lo que podemos asociar el término a que cuando “pierde calidad” implica que se degrada; es decir, que se transforma en una forma menos valiosa.

Por ejemplo, no es lo mismo 1 kJ de energía eléctrica disponible para encender un aparato electrónico y escuchar la música que tanto nos gusta, que la misma cantidad de energía (1 kJ) disipada en forma de calor en el motor de nuestro automóvil en marcha. Otro ejemplo: el mar se puede ver como una inmensa fuente de energía (considere la entalpia de transformación del agua salada y multiplíquela por toda la masa de dicha agua); sin embargo, como su temperatura es similar a la del medio que la rodea no es factible transferir toda esa energía en forma de calor y utilizarla con una finalidad práctica (algo que nos gusta hacer a los ingenieros).



Figura 2. El mar como fuente inmensa de energía. Cuando se descubre una nueva fuente de energía como un yacimiento petrolífero, una

mina de carbón o un pozo geotérmico, por ejemplo, lo primero que hacen los ingenieros es estimar la cantidad de energía contenida en la fuente para saber si conviene explotarla o no. Sin embargo, esta información no es suficiente para decidir si se construye una central eléctrica cerca de ese sitio. Es también relevante saber qué cantidad de energía es la que vamos a poder disponer de la fuente como trabajo útil (no olvidemos que trabajo es solo una de tantas formas de energía existentes). En palabras más elegantes debemos saber cuál es el potencial de trabajo de la fuente energética.

De la misma manera, en un dispositivo que realiza un cierto proceso termodinámico es necesario saber cuánto nos alejamos de la idealización del mismo o, dicho en otras palabras, qué tan irreversible es el proceso y para ello recurrimos a la medición del incremento de entropía en el proceso mencionado. Recordemos que la entropía es una propiedad que nos permite medir qué tanto nos estamos alejando del proceso “ideal”, sin irreversibilidades<sup>2</sup>.

De la misma manera, cuando queremos determinar el potencial de trabajo útil de una cantidad dada de energía en algún estado especificado podemos recurrir a la propiedad denominada exergía la cual también se le

---

<sup>2</sup> Véase el número 28 de este mismo Boletín publicado en marzo de 2018.

conoce como disponibilidad o energía disponible. El término disponibilidad (*availability*) fue popularizado en Estados Unidos en los años de 1940. En Europa se introdujo un término equivalente en los años de 1950 denominado exergía el cual ha encontrado aceptación mundial, quizá por ser más corto y por rimar con energía y entropía.

La exergía es una propiedad termodinámica de una sustancia en un entorno que permite determinar el potencial de trabajo útil de una determinada cantidad de energía que se puede alcanzar por la interacción espontánea entre un sistema y su entorno.

En general, se acepta como medida de la calidad de la energía, su capacidad para producir trabajo. El problema con esta definición es elegir el nivel de referencia adecuado. Hay que tener en cuenta, que para que una máquina térmica realice trabajo, debe tomar calor desde una fuente a alta temperatura, y ceder parte de ese calor a un sumidero a temperatura baja (o “fría”). Si la temperatura del sumidero es muy alta, muy pocas fuentes tendrán la temperatura necesaria como para que una máquina térmica puede transformar el calor de esta fuente en trabajo. Por tanto, el nivel de referencia (es decir, el valor de la temperatura “fría”) es muy importante a la

hora de definir la exergía. Como es habitual que las máquinas térmicas trabajen con el medio que las rodea como sumidero, se suele tomar el nivel de referencia en la temperatura ambiente.

En un motor de combustión interna, al quemar el combustible mezclado con aire se obtienen gases producto de la combustión y la exergía del sistema inicial es mucho mayor ya que potencialmente es mucho más útil a la hora de obtener trabajo (energía mecánica). En contraste, si consideramos el fluido utilizado como refrigerante en el mismo motor, éste último cede una gran cantidad de energía al refrigerante, pero ésta solo eleva su temperatura unos cuantos grados de Celsius<sup>3</sup> por encima de la temperatura de su entorno, por lo tanto, su utilidad potencial para obtener trabajo es prácticamente nula o, dicho elegantemente, tiene una exergía asociada baja. En otras palabras, en ambos casos la transferencia de energía puede ser muy similar pero el potencial de trabajo es notoriamente diferente.

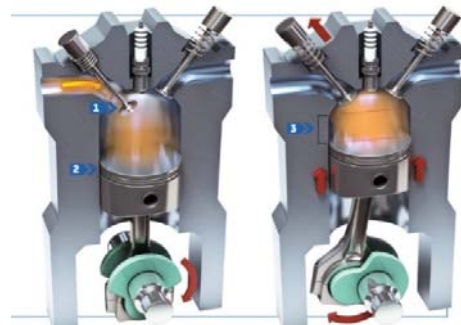


Figura 3. Motor de combustión interna.

<sup>3</sup> Llamados también grados centígrados, aunque en 1948 a la escala centígrada se le cambió el nombre a escala de Celsius en honor a quien la ideó. Véase el número 35 de este mismo Boletín publicado en febrero de 2020.

La energía disponible o la exergía está asociada al desequilibrio entre un sistema y su entorno. Supongamos una lámina metálica a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  que se sumerge en agua a  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en este caso la reacción y el nivel de exergía es mayor que si la lámina se hubiera sumergido en agua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Si la temperatura del sistema (lámina metálica) y de su entorno (agua) es la misma no observaríamos nada y se dice que tendríamos un “estado muerto” o nivel de cero exergía. Lo anterior puede ser aplicable también a otros desequilibrios como mecánico o químico.

El trabajo realizado durante un proceso depende de los estados inicial y final, así como de la trayectoria del proceso. Vale la pena recalcar que como sí depende de la trayectoria el trabajo no es una propiedad (situación análoga al calor que tampoco es una propiedad, aunque la experiencia cotidiana pareciera indicar lo contrario).

La exergía asociada al estado de un sistema termodinámico se mide mediante el trabajo reversible máximo que puede obtenerse del sistema cuando éste evoluciona hacia un estado de equilibrio intercambiando calor exclusivamente con el medio ambiente. Este estado de equilibrio es el denominado estado muerto a  $298.15\text{ K}$  ( $25^{\circ}\text{C}$ ) y  $101\ 325\text{ Pa}$  ( $1\text{ atm}$ ). Lo anterior implica que cualquier sistema en un estado de equilibrio que no sea el estado muerto,

tiene capacidad para realizar trabajo útil sobre su entorno.

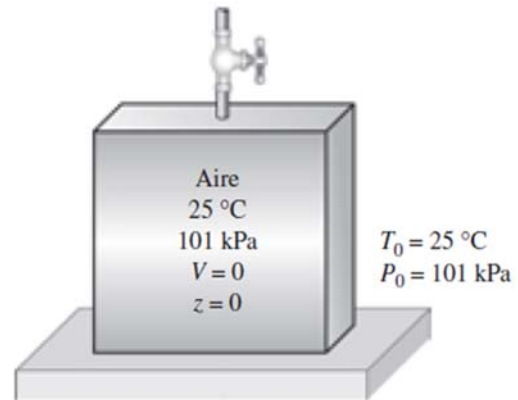


Figura 4. Sistema en estado muerto. Obsérvese que no deja de ser un estado definido en forma arbitraria.

Es importante señalar que uno de los problemas de la exergía es la estandarización del estado de referencia o estado muerto. Con esto se hace referencia a que la definición del estado muerto implica la necesidad de establecer una presión, una temperatura y una composición de referencia que, de preferencia, sean las mismas para todo el mundo con el fin de que el análisis del proceso no dependa de su ubicación. Por lo anterior se pueden tener valores de exergía totalmente diferentes dependiendo de la definición del estado de referencia. Lo anterior no sucede con propiedades como la energía interna, la entalpía o la entropía ya que, independientemente de dónde se ubique la referencia para medirlas, la diferencia de las mismas resulta ser la misma.

Otro inconveniente con el concepto de exergía es que no hay una notación estándar, de tal manera que diferentes autores utilizan símbolos distintos para esta propiedad lo cual lo hace proclive a generar confusión en el estudio de la termodinámica. Algunos símbolos utilizados son A, B, E, Ex, e, X y  $\varphi$ .

Como conclusión podemos afirmar que, en un proceso termodinámico, el análisis de exergía es equivalente a realizar los análisis de primera y segunda ley de una manera conjunta. Así, la exergía (o disponibilidad) es una propiedad termodinámica que cuantifica la calidad de la energía, pero a diferencia de ésta no se conserva y es una medida del potencial de trabajo útil de la energía. Una vez desperdiciada la exergía nunca se recupera.

Cuando se usa energía para calentar un habitáculo o enfriarlo, según la temperatura exterior (y con ello estar mucho más confortables) no se destruye nada de energía, sin embargo, parte de ella sí se convierte en una forma menos útil; es decir una forma con menor exergía. La exergía destruida representa el potencial de trabajo perdido y se le puede llamar trabajo desperdiciado o trabajo perdido. La irreversibilidad al igual que la producción de

entropía, es una medida de las pérdidas termodinámicas en un sistema y ayuda a situar y cuantificar el despilfarro de energía en los procesos analizados en la ingeniería.

## Referencias

Cengel, Y. y Boles, M. *Termodinámica*. McGraw Hill. México, séptima edición, 2012.

Wark, K. y Richards D. *Termodinámica*. Mc Graw Hill. México, sexta edición, 2001.

Mora, R. A. *Crítica al concepto de exergía*. Artículo publicado en "Ingeniería", Vol. 25, núm. 1. Revista de la Universidad de Costa Rica. 2015.

<https://doi.org/10.15517/ri.v25i1.14926>

Instituto de Energías Renovables (IER). UNAM. *Concepto de exergía*. Módulo IV.

<https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/Modulos/Modulo4.pdf>

## Figuras:

1. [Geotermia - Diseño y Construcción de Pozos Geotérmicos | Armadrill \(perforaciondepozosprofundos.com\)](http://www.perforaciondepozosprofundos.com)

2. [¿Por qué el mar se ve azul y no transparente? | Marca](#)

3. [El funcionamiento de un motor a combustión interna - Autofact](#)

4. Cengel, Y. y Boles, M. *Termodinámica*. McGraw Hill. México, séptima edición, 2012. Página 428.

**Rigel Gámez Leal**

*rigel.gomez@ingenieria.unam.edu*

**Profesor de la Facultad de Ingeniería de la UNAM**

## El Capital Humano

Para el ingeniero resulta imprescindible el estudio de la naturaleza ya que toda su actividad, en beneficio de la sociedad, se basa en las leyes que la gobiernan. Escribir o elaborar una definición de Capital Humano no es algo que parezca simple; entendamos por Capital el total de recursos físicos y financieros que posee una entidad económica, con el fin de generar beneficios o ganancias. Así, se puede hablar de capitales financieros, fijos, variables o incluso de Capitales Humanos.



Se refiere entonces, el Capital Humano, al bien acumulativo que se integra en los individuos; por lo general entendido como aquellos conocimientos que permiten aumentar la capacidad productiva del hombre y del que se beneficia en la obtención de mejores salarios.

El Capital acumulado por medio de la educación, sin embargo, implica un proceso lento y que requiere de determinada inversión que habrá de recuperar en un tiempo razonable. En el caso de la inversión, pueden existir elementos

condicionantes como lo son la oferta y la demanda.

Queda claro, entonces, que la educación resulta ser un factor que influye directamente en las oportunidades que tiene el individuo para insertarse exitosamente en un ambiente laboral. La importancia en la acumulación del conocimiento reside en la capacidad de éste para ser puesto al servicio de la fuerza productiva del trabajo.

Inicialmente se consideró que la responsabilidad de la formación del Capital Humano residía en los particulares directamente involucrados; en la actualidad esto continúa ocurriendo, aunque tanto las empresas privadas como el gobierno, beneficiarios directos, participan cada vez más de su establecimiento.

En este contexto, la Teoría del Capital Humano se ha visto influida por las decisiones gubernamentales relacionadas con el gasto público, la asignación de recursos a partir del Producto Interno Bruto, etc. Así como de la petición de cuentas por parte de organismos directamente instituidos por el Estado.



Grupos poblacionales donde el nivel de estudios es grande, por lo general, son considerados con bajos índices en lo que a problemas sociales se refiere. Lo anterior repercute tanto de manera grupal como de manera individual y representa un beneficio social directamente relacionado con el Concepto de Capital Humano.

Desde un punto de vista económico, como se ha mencionado, debería existir una relación directa entre la inversión en dinero, tiempo y dedicación, como función de las habilidades adquiridas o recompensas obtenidas; situación que, en la realidad, en ocasiones, dista de ser una regla sencilla de establecer.

Lo anterior indica que mientras se creyó que el concepto de Capital Humano debería de ser un factor capaz de establecer situaciones de igualdad en la obtención de empleos, la realidad en las políticas establecidas por las empresas en torno a las nuevas contrataciones, respondían más a situaciones étnicas, lingüísticas o incluso de diversidad de género.

Algún otro factor que no abona a la credibilidad de La Teoría del Capital Humano se refiere a las políticas por parte de las Instituciones Educativas en expedir títulos; sin que los mismos puedan ser certificados por entidades privadas o gubernamentales.

A manera de conclusión cabe destacar que a través de La Teoría del Capital Humano es posible explicar las diferencias en el poder adquisitivo de los miembros de una sociedad a partir del empleo; es decir, que la instrucción formal representa un factor de rentabilidad en el proceso de profesionalización de la educación. Aunque es posible cuantificar el Capital Humano a través de las tasas de inversión inicial tanto como de los índices comparativos del salario, como función de los años de escolaridad, se debe tener en cuenta que existen factores que afectan a la Teoría; tales factores son la oferta, la demanda, los estados financieros de las empresas y sobre todo la disposición del Estado por invertir o no en infraestructura educativa.

*...Las instituciones internacionales han avalado, en distintas formas, la veracidad de esta hipótesis, en tanto promulgan que el futuro económico se sustentará cada día más en el conocimiento y la experiencia de las personas, quienes se encargarán de innovar la tecnología y aportar soluciones para el beneficio colectivo...(Acevedo A., 2018).*



**Referencia:**

Acevedo Muriel, A. F. (2018). *La teoría del capital humano, revalorización de la educación: análisis, evolución y críticas de sus postulados*. Revista Reflexiones y Saberes, 5(8), 58-72.

**Salvador Enrique Villalobos Pérez**

villasalen@gmail.com

**Martín Bárcenas Escobar**

martin\_b\_e@hotmail.com

**Profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM**

**Imágenes:**

1. <https://www.ivie.es/wp-content/uploads/2017/05/capital-humano-web.jpg>
2. [https://lhh.cl/wp-content/uploads/2020/02/Capital\\_Humano.png](https://lhh.cl/wp-content/uploads/2020/02/Capital_Humano.png)

---

***“A lo largo de espacio hay energía, y es una mera cuestión de tiempo hasta que los hombres tengan éxito en sus mecanismos vinculados al aprovechamiento de esa energía”***

*Nikola Tesla (1856-1943) Físico Croata.*

***“La única manera de hacer un gran trabajo es amar lo que hace. Si no ha encontrado todavía algo que ame, siga buscando. No se conforme. Al igual que los asuntos del corazón, sabrá cuando lo encuentre”***

*Steve Jobs (1955-2011) Empresario Estadounidense.*

---

El contenido de los artículos publicados en este boletín es responsabilidad exclusiva de los autores.

Dudas o comentarios: [velasquez777@yahoo.com.mx](mailto:velasquez777@yahoo.com.mx)

**Editor: M. en C. Q. Alfredo Velásquez Márquez**