

# Sadi Carnot: El Padre de la Termodinámica

Dafni Mora Guerra 

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Panamá.

dafni.mora@utp.ac.pa

DOI: 10.33412/pri.v%v.%i.2984



## Resumen:

Nicolas Léonard Sadi Carnot fue un ingeniero francés, considerado como el Padre de la Termodinámica. Hace estudios sobre las máquinas térmicas y publica sus resultados a la edad de 24 años en su única obra titulada Reflexiones sobre la Potencia Motriz del Fuego en 1824, en donde postuló conceptos fundamentales sobre las máquinas térmicas, entre ellos, el ciclo de máxima eficiencia. Además, sentó los principios de la segunda Ley de la Termodinámica. Falleció a una corta edad de 36 años. Su obra fue influenciada por su padre el también Ingeniero Lazare Carnot.

**Palabras clave:** Carnot, máquina térmica, termodinámica.

**Title:** Sadi Carnot: The father of the Thermodynamic

**Abstract:** Nicolas Léonard Sadi Carnot was a French engineer, considered the Father of Thermodynamics. At the age of 24, he published his only work entitled "Reflections on the Motive Power of Fire" in 1824, where he postulated fundamental concepts about heat engines, among them, the maximum efficiency cycle. Also, he established the principles of the Second Law of Thermodynamics. He passed away at the young age of 36 years. He was also influenced by his father, also an engineer, Lazare Carnot.

**Key Words:** Carnot, heat engine, thermodynamics.

Tipo de artículo: histórico

Fecha de recepción: 4 de agosto de 2020.

Fecha de aceptación: 5 de enero de 2021.

## Su vida

En un mundo en crisis, Nicolas Léonard Sadi Carnot nació el 1 de junio de 1796 en el Palais du Petit-Lexembourg. Era el hijo mayor de Sophie Dupont de Moringhem y Lazare Nicolas Marguerite Carnot. Sadi Carnot, como es mayormente conocido, tuvo dos hermanos. Su padre Lazare eligió para sus



Figura 1. Nicolas Léonard Sadi Carnot en uniforme de estudiante de la École Polytechnique [4]

dos primeros hijos (el primero murió a los 13 meses de edad) el nombre del poeta y moralista persa Saadi Musharif ed Din (1184-1280) [1]. En la figura 1 se muestra una pintura de Sadi Carnot y en la figura 2 se presenta el árbol genealógico conocido. Su madre era una pianista talentosa [2].

Hasta los 16 años, Sadi Carnot fue educado por su padre, quien le enseñó matemáticas y ciencias, así como idiomas y música. Primero fue enviado al Lycée Charlemagne en París para prepararlo para los exámenes de admisión a la Escuela Politécnica de París. En 1812 a los 16 años, con la mínima edad permitida, Carnot ingresó a la École Polytechnique, donde Poisson, Ampère y Arago estaban entre sus maestros. Carnot se graduó de la École Polytechnique en 1814, en la época en que se iniciaba el declive del imperio napoleónico. Antes de graduarse, Carnot y otros estudiantes de la École Polytechnique se ofrecieron como voluntarios a pelear (sin éxito) con Napoleón para defender a Vincennes [1].

Después de graduarse, Carnot completó su entrenamiento con dos años adicionales de estudio de ingeniería militar en la École du Génie en Metz. La carrera militar de Sadi Carnot no fue fácil; se reflejaron los altibajos políticos de su padre, los cuales lo llevaron a ser reservado, introvertido y casi taciturno.

Además de su educación formal, Sadi Carnot asistió a cursos en varias instituciones en París, incluida la Sorbona y el Collège de France. Se interesó en problemas industriales; visitó fábricas y talleres; estudió las últimas teorías de la economía política; y, en particular, comenzó a estudiar la teoría de los gases. Más allá de esto, su actividad y habilidad abrazaron las matemáticas y las bellas artes (su hermano Hippolyte afirmó que era un excelente violinista) [1].

Según la biografía escrita por su hermano Hippolyte, en junio de 1832, a sus 36 años Sadi se enfermó y el 24 de agosto de 1832 murió producto de la pandemia de Colera que devastó París esos años, sin que fuera reconocido por sus aportes a la ciencia. Contrario a esta versión, otros autores [3] afirman que Sadi Carnot falleció en un manicomio para personas ricas (Maison de Santé du Dr. Esquirol, ubicado en Ivry-sur-Seine) y que el hermano intentó ocultar este hecho.

### Su padre

Lazare-Nicolas-Marguerite Carnot (1753-1823), conocido en la historia francesa como el "Organizador de la Victoria" en las guerras de la Revolución, y en la Ingeniería mecánica por el principio de continuidad en la transmisión de la potencia.

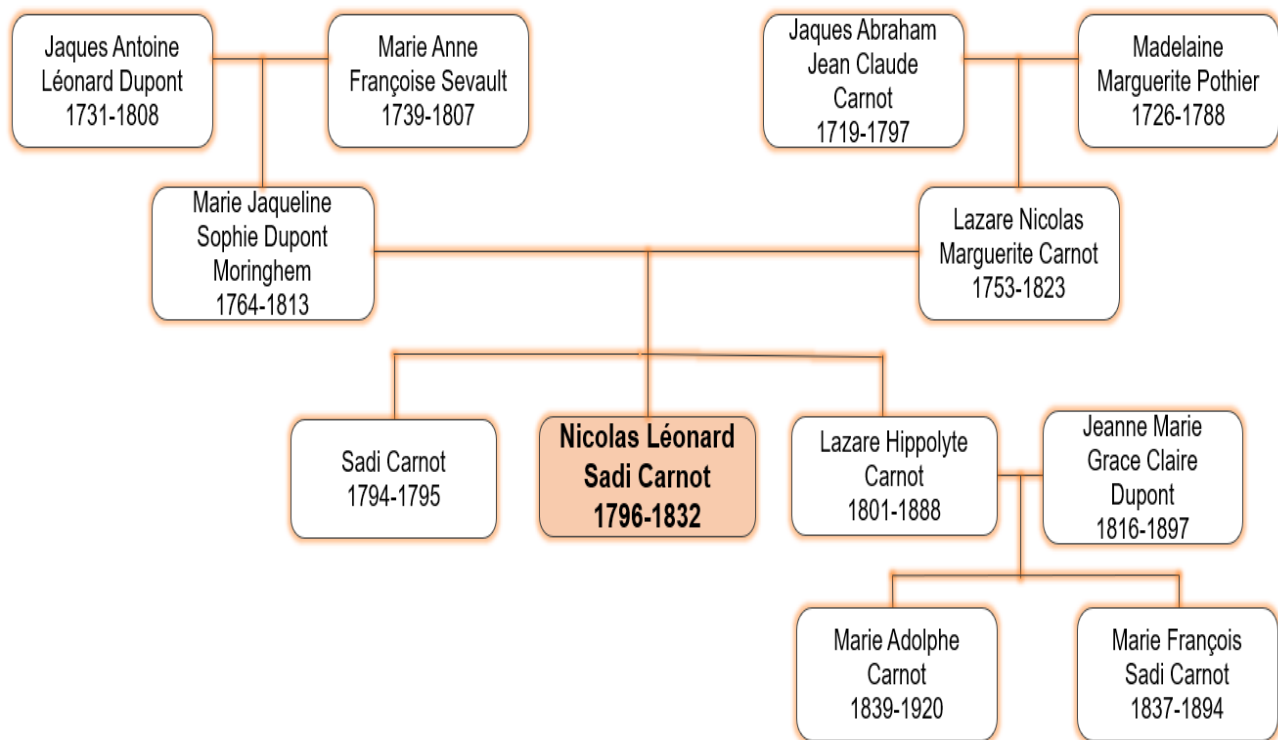


Figura 2. Árbol genealógico de Nicolas Léonard Sadi Carnot

Sigue siendo uno de los pocos hombres destacados tanto en la ciencia como en la política, en cada dominio, su carrera merece un reconocimiento especial por sus propios méritos [5]. Asistió a la escuela de Ingeniería militar y luego emprendió carrera militar (reorganizando el ejército y más tarde se convirtió en el ministro de guerra de Napoleón Bonaparte). En 1800 fue elegido miembro del Instituto Francés y cinco años después se convirtió en su presidente [6]. Científicamente fue famoso como matemático y como Ingeniero Mecánico; escribió múltiples libros. En uno de ellos "Principios fundamentales de equilibrio y movimiento (1803)", discute conceptos de conservación de energía mecánica y la imposibilidad de una máquina de movimiento perpetuo [1]. En la actualidad estos principios son ampliamente conocidos, pero no en los días en donde la Primera Ley de la Termodinámica aún no había sido postulada.

Otro aspecto que es importante recalcar es que la física del siglo XVIII fue desarrollada bajo las tres leyes de movimiento de Newton. Aún faltaba el concepto de energía que fue introducido

por Leibniz (1695) en forma de fuerza vital, *vis viva* (hoy día: energía cinética), y fuerza muerta, *vis mortua*, que luego fue renombrada como energía potencial por Rankine (1853). Por otro lado, el concepto de trabajo estaba ausente en la mecánica y el análisis numérico de los procesos mecánicos, los cuales se plantearon sin el uso de formalismos algebraicos en el análisis de vectores. A grandes rasgos, éste era el estado del arte de la mecánica cuando Lazare comenzó sus estudios sistemáticos tratando de aplicar las leyes de la física a las propiedades de los dispositivos mecánicos [6].

La estrategia de Lazare en realidad demostró ser adecuada para una descripción abstracta de dispositivos mecánicos. El concepto del balance de trabajo permitió a Lazare describir el equilibrio en máquinas, en términos de desplazamientos virtuales. Habían otras dos cantidades estrechamente relacionadas con el "trabajo": la "potencia", una cantidad sin ninguna otra especificación y la "eficiencia", originalmente llamada "efecto". Para una comparación de eficiencias de

máquinas ideales y reales también se introdujo el concepto de "desigualdades mecánicas". Su trabajo en física, sin embargo, permaneció sin respuesta en su entorno y también fue omitido por sus seguidores, Lagrange y Laplace [6].

### Las Influencias científicas de Carnot

Aunque las memorias de Carnot son profundamente originales, es posible que hayan tenido grandes influencias de dos personas, por un lado, de su padre Lazare Carnot y, por otro lado, de sus maestros, el eminente científico e industrial Nicolas Clément y Charles Bernard [2].

La fama de Lazare Carnot se debe principalmente a su actividad política, pero sus contribuciones científicas están lejos de ser insignificantes y ejercieron una influencia definitiva sobre Sadi

De hecho, en su prueba en las máquinas, Lazare, como lo hará Sadi más adelante, busca establecer las condiciones óptimas para el funcionamiento de una máquina hidráulica reducida a su principio, la abstracción deja de lado toda consideración práctica. La condición óptima es que la transmisión de la fuerza motriz se realice sin golpe. En *Réflexions*, la condición comparable para la máxima eficiencia es que no hay flujo de calor sin producir un efecto mecánico. Muchos otros aspectos de *Réflexions* dan testimonio de la deuda que Sadi tuvo con su padre: este es el caso de los comentarios sobre el movimiento perpetuo, la noción de reversibilidad y la importancia de estudiar un ciclo termodinámico [7]. Sadi tuvo ideas diferentes a las de la época en relación con la teoría del calórico, que explicaba las características y comportamientos físicos del calor y que fue abandonada a mediados del siglo XIX.

A su regreso a París, Sadi asistió a las clases de Nicolas Clément (1779-1842) en el Conservatoire des Arts et Métiers, donde estudió química y aprendió sobre las leyes de los gases comúnmente aceptadas de la época. Es probable que durante este período haya escrito el manuscrito inédito "Recherche d'une formule propre à représenter la puissance motrice de la vapeur d'eau", descubierto en 1966 en el Conservatoire des Arts et Métiers. En este manuscrito, la influencia de Clément es evidente: se encuentra la primera idea de un proceso cíclico que consta de solo tres fases (es decir, dos isotérmicas y una adiabática), por lo que no incluye la noción de reversibilidad.

Antes de su temprana muerte en 1832, Sadi también escribió las *Notas "sur les mathématiques, la physique et autres sujets"*, publicadas póstumamente, en las que abandonó la antigua idea del principio del calórico, siguiendo en cambio la teoría moderna del calor, anticipándose casi diez años [8].

### Sus aportes científicos

La Termodinámica, ciencia que estudia y formula las relaciones entre el calor y los efectos mecánicos, representó en sus inicios una gloria científica. Para el año 1824, la revolución industrial había alcanzado su máximo desarrollo, especialmente en Inglaterra. Luego de la guerra con Gran Bretaña, Francia tuvo que importar de ese país la maquinaria de vapor más avanzada de la época. Sadi identificó que los británicos habían

progresado hasta ese momento gracias al ingenio de unos pocos ingenieros que carecían de educación científica formal. A pesar de esto, reconoció la supremacía de Inglaterra en el uso de la máquina de vapor [1]. Con las mejoras introducidas por James Watt a finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX dio lugar a la máquina de vapor de aplicación práctica, que resultaría fundamental en el desarrollo de la Revolución Industrial en toda Europa.

La máquina térmica es un dispositivo que utiliza calor para realizar trabajo mecánico. Se caracterizan por funcionar con un con un fluido de trabajo y en forma cíclica. La máquina térmica consta de una serie de procesos de expansión y compresión del fluido de trabajo. En este contexto surgen algunas de las preguntas de Sadi: ¿encontrar la relación de propiedades termodinámicas que definen el ciclo de máxima eficiencia?, y si ¿la misma depende del fluido de trabajo?

La obra de Sadi Carnot titulada *Reflexiones sobre la Potencia Motriz del Fuego* de 1824, se considera como el nacimiento de la Termodinámica. La hipótesis fundamental de Carnot es que el trabajo se debe exclusivamente a la diferencia de temperatura absoluta entre la fuente de calor y el sumidero de baja temperatura, independientemente de la naturaleza del medio de transmisión. Definió que el ciclo de máxima eficiencia debe constar de cuatro procesos: expansión isotérmica reversible, expansión adiabática reversible, compresión isotérmica reversible y compresión adiabática reversible. Por ser un ciclo reversible, es el más eficiente que opera entre dos límites de temperatura especificados.

La comprensión de los principios de conversión de calor en energía establecidos por Sadi Carnot tuvieron profundas repercusiones en toda la industria. La máquina de vapor aumentó, primero, la necesidad de carbón, y luego, la del petróleo. La mayor disponibilidad de carbón se refleja en las nuevas tecnologías para producir hierro y acero y en el uso de carbón para producir una gran cantidad de productos químicos.

La energía de vapor se usaba para conducir las máquinas involucradas en la industria textil, para desarrollar sistemas masivos de transporte. Por otro lado, la declaración del ciclo inverso de Carnot o ciclo de refrigeración eventualmente daría lugar a técnicas que, ya en la segunda mitad del siglo XIX permitieron transportar carne desde Argentina y Australia a los mercados europeos y alentar el crecimiento de la producción lechera y mercado de la jardinería [1].

Otro aspecto importante a considerar es lo relativo a las tres prohibiciones previas a la definición de la propiedad Termodinámica de Entropía: no se puede construir un motor que tenga eficiencia mayor que la de Carnot, no podemos construir un motor donde no haya calor que sea entregado al sumidero de baja temperatura y donde todo el calor recibido se transforme 100% en trabajo mecánico y no podemos tener un refrigerador que funcione con trabajo realizado igual a cero.

### Avances de la Termodinámica

La vida y obra de Sadi Carnot tuvieron lugar en medio de una serie de eventos que marcaron la historia de Francia y la mundial. Sus logros fueron influenciados por su padre y por su

rigurosa educación científica y militar. Su obra abrió paso a la definición del enunciado de la Segunda Ley de la Termodinámica y la introducción de la propiedad de Entropía por Rudolf Julius Clausius en 1865.

Desde ese momento sentaron las bases de las Leyes fundamentales que gobiernan los procesos de la naturaleza en donde se encuentren transformaciones de calor en trabajo.

Actualmente gran parte de la industria de transporte, generación de energía eléctrica y muchas otras aplicaciones, tienen como base los principios enunciados por Carnot y prevalece la búsqueda de mejoras en la eficiencia.

## Referencias

- [1] J. Wisniak, "Sadi Carnot: His life and achievements. Against the historical period? a short bibliographical sketch," *The Chemical Educator*, vol. 5, no. 1, pp. 38–42, 2000, doi: 10.1007/s00897990357a.
- [2] P. R. Salvi and V. Schettino, "Sadi Carnot's Réflexions and the foundation of thermodynamics," *Substantia*, vol. 3, no. 2 SE-Historical Articles, pp. 73–96, 2019, doi: 10.13128/Substantia-638.
- [3] A. Birembaut, "A propos des notices biographiques sur Sadi Carnot : Quelques documents inédits," *Revue d'histoire des sciences*, vol. 27, no. 4, pp. 355–370, 1974, doi: 10.3406/rhs.1974.1107.
- [4] American Physical Society, "June 12, 1824: Sadi Carnot publishes treatise on heat engines," *APS News*, vol. 18, no. 6, 2009, Accessed: Aug. 02, 2020. [Online]. Available: <https://www.aps.org/publications/apsnews/200906/physicshistory.cfm>.
- [5] C. C. Gillispie and R. Pisano, *Lazare and Sadi Carnot*, vol. 19, 2014.
- [6] J. Šesták, J. J. Mareš, P. Hubík, and I. Proks, "Contribution by Lazare and Sadi Carnot to the caloric theory of heat and its inspirative role in thermodynamics," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 97, no. 2, pp. 679–683, 2009, doi: 10.1007/s10973-008-9710-y.
- [7] L. C. de Fontenay, *Sciences Physiques: De Carnot a Prigogine*. 1980.
- [8] C. C. Gillispie and R. Pisano, "Lazare and Sadi Carnot: A Scientific and Filial Relationship," *The Mathematical Intelligencer*, vol. 42, no. 2, pp. 91–100, 2020, doi: 10.1007/s00283-019-09957-w.