

sistema cerrado – closed system

Authored by
memjavad

November 17, 2025

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *sistema cerrado – closed system*. Spanish Psychological Databases.
Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=4829>

Sistema Cerrado

Primary Disciplinary Field(s): [Termodinámica](#), Teoría General de Sistemas, Física

1. Definición Central

El concepto de **sistema cerrado** constituye una abstracción fundamental utilizada en múltiples disciplinas científicas, desde la física y la química hasta la ingeniería y la teoría de sistemas. Se define primariamente como una porción del universo o un conjunto de elementos interconectados que está delimitado por fronteras bien definidas, a través de las cuales puede intercambiar energía con su entorno, pero está rigurosamente impedido de intercambiar materia. Esta distinción es crucial, ya que contrasta directamente con los **sistemas abiertos**, que intercambian tanto materia como energía, y los **sistemas aislados**, que no intercambian ni materia ni energía. La esencia de esta definición radica en la estricta conservación de la masa dentro de los límites del sistema.

La utilidad práctica de modelar un fenómeno como un sistema cerrado reside en la simplificación de las variables de estudio. Al garantizar que la masa total dentro del sistema permanece constante a lo largo del tiempo, los científicos y los ingenieros pueden aplicar leyes de conservación, como la Ley de Conservación de la Masa, con una certeza absoluta, independientemente de los cambios de fase o las reacciones químicas que puedan ocurrir internamente. En esencia, el sistema cerrado actúa como un volumen de control fijo donde la atención se centra en las transformaciones internas y en las interacciones energéticas que cruzan sus límites, facilitando el análisis de los estados termodinámicos iniciales y finales.

Es importante notar que el concepto de sistema cerrado es, en la mayoría de los casos macroscópicos, una idealización. Si bien un sistema puede estar diseñado para ser lo más cerrado posible (por ejemplo, un reactor químico sellado herméticamente o un cilindro con un pistón perfectamente ajustado), siempre existe una probabilidad mínima de fuga o intercambio de materia, especialmente a lo largo de períodos geológicos o en presencia de gradientes de presión extremos. No obstante, para propósitos de análisis ingenieril y físico a corto plazo, la aproximación del sistema cerrado ofrece una herramienta robusta y altamente predictiva para el estudio riguroso de procesos cinéticos y termodinámicos.

2. Desarrollo Histórico y Contexto Disciplinario

El formalismo del sistema cerrado emergió y se consolidó principalmente con el desarrollo de la **Termodinámica** en los siglos XVIII y XIX. Los pioneros en este campo, como Sadi Carnot, James Prescott Joule y Rudolf Clausius, requerían un marco conceptual estricto para formular las leyes que rigen la transferencia y transformación de la energía. La Primera Ley de la Termodinámica (conservación de la energía) se aplica de manera más directa y elegante a los sistemas cerrados,

permitiendo definir el cambio en la energía interna del sistema únicamente en función del calor ($\$Q\$$) y el trabajo ($\$W\$$) intercambiados con el exterior, sin tener que contabilizar el flujo de entalpía asociado a la masa.

La comprensión precisa del sistema cerrado estuvo íntimamente ligada a la aceptación previa de la **conservación de la masa**. Antes de la formulación precisa de esta ley por Antoine Lavoisier en el contexto de las reacciones químicas, la noción de que la materia total dentro de un recipiente sellado era constante era intuitiva pero no formalizada. Una vez establecida la conservación de la masa, el sistema cerrado se convirtió en el escenario experimental ideal para confirmar las relaciones estequiométricas y energéticas. El énfasis se puso en cómo la energía, y no la masa, impulsaba los cambios de estado, lo que fue crucial para el desarrollo de la ingeniería de máquinas de vapor.

Aunque el término se popularizó en la física, su aplicación se expandió significativamente en el siglo XX con el surgimiento de la [Teoría General de Sistemas](#) (TGS), propuesta por Ludwig von Bertalanffy. Bertalanffy contrastó los modelos mecanicistas tradicionales, que a menudo trataban los objetos de estudio (incluso organismos) como sistemas cerrados, con los sistemas biológicos y sociales, que son inherentemente abiertos. La TGS utilizó el sistema cerrado como punto de referencia teórico y metodológico para comprender, por contraste, la complejidad de los sistemas vivos, cuya viabilidad depende precisamente de su capacidad para importar y exportar materia y energía.

3. Características Fundamentales

Las características definitorias de un sistema cerrado giran en torno a la naturaleza de sus fronteras y las restricciones impuestas al flujo a través de ellas. La característica primordial e inmutable es la **invariabilidad de la masa**: la cantidad de materia dentro de las fronteras del sistema permanece constante, independientemente de los procesos internos que ocurran (cambios de fase, reacciones nucleares menores, etc.). Este principio es la piedra angular para el análisis de balances de masa y la aplicación de la termodinámica clásica, ya que permite definir la masa como una constante del sistema.

Otra característica esencial es la capacidad de intercambio energético. Un sistema cerrado puede interactuar con su entorno mediante dos mecanismos principales: **trabajo** y **calor**. El trabajo puede ser mecánico (por ejemplo, la expansión o compresión de un gas contra un pistón), eléctrico, o de otra índole, y representa un cambio de energía asociado a una fuerza que actúa a través de una distancia. El calor es la transferencia de energía térmica neta debido a una diferencia de temperatura entre el sistema y su entorno. Esta capacidad de intercambio energético permite que el sistema evolucione, se caliente, se enfríe o realice trabajo, alcanzando nuevos estados de equilibrio, aunque su composición material global no cambie.

Finalmente, la naturaleza de las fronteras del sistema cerrado es determinante. Estas fronteras son conceptualmente **permeables a la energía**, lo que las diferencia de las fronteras de un sistema aislado. Pueden ser rígidamente fijas o móviles (permitiendo o impidiendo el trabajo de volumen), y pueden ser diatérmicas (permitiendo el flujo de calor) o adiabáticas (impidiendo el flujo de calor). Sin embargo, siempre son **impermeables a la materia**. La elección precisa de la frontera define el volumen de control y determina qué interacciones se consideran internas y cuáles son externas, facilitando la aplicación de ecuaciones de estado y balances termodinámicos al reducir el número de variables de entrada y salida a cero para la materia.

4. El Sistema Cerrado en Termodinámica

En el ámbito de la termodinámica, el sistema cerrado, a menudo denominado **masa de control**, es la herramienta analítica preferida para el estudio de procesos de no flujo. Esto incluye todos los procesos donde no hay movimiento de masa a través de las fronteras, como el calentamiento o enfriamiento de un gas dentro de un contenedor sellado o la compresión de un fluido en un cilindro. La aplicación más directa se encuentra en la formulación de la Primera Ley. Para un sistema cerrado, el cambio en la energía interna (ΔU) es igual al calor neto agregado (Q) menos el trabajo neto realizado por el sistema (W), expresado sucintamente como $\Delta U = Q - W$. Esta ecuación es la base para el diseño y análisis de muchos dispositivos de ingeniería, incluyendo calderas, condensadores y máquinas reciprocantes.

El análisis de propiedades intensivas y extensivas dentro de un sistema cerrado es significativamente más sencillo que en un sistema abierto. Las propiedades extensivas (como la energía interna, la entalpía o la entropía) son proporcionales a la masa, la cual es constante. Las propiedades intensivas (como la temperatura, la presión o la densidad) pueden cambiar, y su estado final puede ser determinado por la aplicación de ecuaciones de estado, como la ecuación del gas ideal, o mediante el uso de tablas de propiedades termodinámicas. La constancia de la masa elimina la necesidad de balances de energía asociados al flujo de masa (como la entalpía de flujo), simplificando drásticamente la caracterización del estado termodinámico en cualquier punto del proceso.

Un concepto avanzado esencial en este contexto es la **entropía**. Aunque un sistema cerrado no puede intercambiar materia, sí puede intercambiar entropía con el entorno a través del flujo de calor, dado que el calor es una forma de transferencia de energía desorganizada. Sin embargo, debido a la Segunda Ley de la Termodinámica, la entropía total del sistema más su entorno (el universo) siempre aumenta en procesos irreversibles. Para el sistema cerrado en sí, la producción de entropía interna es siempre positiva o cero, reflejando la tendencia inherente de los procesos espontáneos a disipar energía útil y moverse hacia un estado de mayor desorden, incluso si la energía total se conserva perfectamente.

5. El Sistema Cerrado en Biología y Ecología

Si bien la mayoría de los sistemas biológicos y ecológicos, como un organismo vivo o un ecosistema forestal, son prototípicamente **sistemas abiertos** que requieren un flujo constante de materia (alimentos, agua, CO₂) y energía (luz solar, calor) para mantener la homeostasis, el concepto de sistema cerrado se utiliza en contextos específicos o como modelo limitante para el análisis. Un ejemplo clásico es la **biosfera terrestre** considerada a gran escala, donde, aunque la energía solar es un flujo abierto constante, la cantidad de materia (agua, carbono, nitrógeno) es esencialmente fija y se recicla internamente a través de ciclos biogeoquímicos. En este sentido, la Tierra se aproxima a un sistema cerrado en términos de masa, lo que enfatiza la importancia de la conservación y el reciclaje de recursos.

Otro ejemplo crucial son los experimentos controlados en laboratorios, como los biorreactores sellados o los sistemas de cultivo celular en modo discontinuo (batch). Estos dispositivos están diseñados intencionalmente para funcionar como sistemas cerrados para el análisis cinético. En un biorreactor cerrado, la cantidad inicial de medio de cultivo y nutrientes es fija. A medida que los microorganismos crecen, consumen los nutrientes y producen metabolitos de desecho. La masa total de la mezcla permanece constante, permitiendo a los investigadores estudiar la dinámica de crecimiento, la tasa de consumo de sustrato y la producción de productos sin la complicación de la adición o eliminación continua de medio de cultivo, ofreciendo una visión clara de los límites de crecimiento poblacional impuestos por la disponibilidad de recursos.

El estudio de los sistemas de soporte vital cerrados, como las estaciones espaciales o los hábitats extraterrestres (el experimento terrestre [Biosfera 2](#) es el ejemplo más ambicioso), representa un intento de ingeniería para crear un ecosistema artificial que se comporte como un sistema cerrado. El objetivo de estos proyectos es reciclar el agua, el aire y los residuos con la máxima eficiencia posible, minimizando la dependencia de suministros externos. Estos experimentos ilustran las enormes dificultades prácticas de mantener un sistema biológico complejo cerrado, ya que la acumulación de entropía, la toxicidad de los metabolitos y los desequilibrios sutiles en los ciclos biogeoquímicos pueden llevar rápidamente al colapso del sistema, demostrando que la vida requiere una gestión constante de los flujos energéticos y una capacidad limitada de absorción de residuos.

6. Sistemas Cerrados en Ciencias Sociales y Economía

En las ciencias sociales y la teoría de la organización, el término "sistema cerrado" se utiliza a menudo de forma metafórica o como un tipo ideal, contrastando con la realidad de los sistemas sociales, que son intrínsecamente abiertos e interactivos. En la teoría de la organización clásica, una **organización de sistema cerrado** es aquella que se modela ignorando o minimizando la influencia de su entorno externo (mercados, competencia, regulaciones, cambios culturales). Este

enfoque, prominente en la administración científica de principios del siglo XX, se centra en la eficiencia interna, la estructura jerárquica y la racionalidad técnica, asumiendo que el éxito es una función exclusiva de la optimización interna.

La sociología y la teoría organizacional modernas han rechazado en gran medida el modelo de sistema cerrado en favor del **modelo de sistema abierto**, reconociendo que las organizaciones y las sociedades están en constante intercambio de información, recursos, capital y personas con su entorno. La crítica principal es que el modelo cerrado no puede explicar la adaptación organizacional, la innovación, ni los fallos causados por cambios externos abruptos o graduales. No obstante, el modelo cerrado sigue siendo útil como herramienta conceptual para el análisis de subsistemas altamente controlados (como un departamento de contabilidad o un protocolo de seguridad interno) o para contrastar la rigidez burocrática frente a la flexibilidad adaptativa exigida por entornos turbulentos.

En economía, el concepto de **economía cerrada** se refiere a una entidad nacional que no participa en el comercio internacional, es decir, no intercambia bienes y servicios (materia/recursos) con el exterior. Aunque similar al sistema cerrado termodinámico en el sentido de la no-interacción de flujos de materia, este modelo aún es inherentemente abierto en términos de energía (importación o uso de combustibles fósiles) y flujos de información globales. El análisis de una economía cerrada permite a los economistas estudiar las dinámicas internas de la oferta, la demanda y el consumo sin la complejidad de las balanzas comerciales y los tipos de cambio, proporcionando un marco simplificado para la modelización macroeconómica básica, como el modelo renta-gasto, aunque su relevancia práctica es escasa en el mundo globalizado actual.

7. Implicaciones Filosóficas y Epistemológicas

La adopción del concepto de sistema cerrado tiene profundas implicaciones epistemológicas, ya que define los límites de lo que puede ser conocido y medido bajo condiciones controladas. Al aislar un fenómeno, el científico asume que las interacciones externas (excepto las energéticas controladas) son irrelevantes, lo que permite la replicación experimental y la formulación de leyes universales. Este enfoque es un pilar del **reduccionismo metodológico**, donde la complejidad se gestiona al reducir el objeto de estudio a sus componentes esenciales y sus interacciones internas, facilitando la aplicación de la lógica causal lineal.

Filosóficamente, el sistema cerrado se relaciona fuertemente con el **determinismo clásico**. Si se conocen las condiciones iniciales de un sistema cerrado (por ejemplo, la posición y el momento de todas las partículas en un gas perfecto) y se conocen las leyes que rigen sus transformaciones (las leyes de la mecánica y la termodinámica), su estado futuro puede, en principio, ser predicho con precisión, aunque el caos determinista limite esta capacidad en la práctica. Esta predictibilidad contrasta con la naturaleza intrínsecamente impredecible y emergente de los sistemas abiertos

complejos, donde la entrada constante de nueva información y materia introduce un elemento de no linealidad y auto-organización.

Además, el universo mismo se considera a menudo el sistema aislado y, por extensión, el sistema cerrado definitivo en términos de masa y energía totales. La cosmología moderna se basa en la suposición de que el universo observable es un sistema cerrado donde la energía total se conserva, aunque la expansión del espacio y el aumento de la entropía (irreversibilidad) dictan su evolución. Esta perspectiva subraya que, incluso en el contexto de un sistema cerrado perfecto, los procesos internos de disipación y degradación de la energía útil (conforme a la Segunda Ley) son inevitables, lo que tiene resonancia en debates sobre la flecha del tiempo y el destino final del cosmos.

8. Críticas y Limitaciones del Modelo

A pesar de su valor heurístico y analítico indispensable en la física y la ingeniería, el modelo de sistema cerrado enfrenta críticas significativas, principalmente relacionadas con su aplicabilidad limitada en el mundo real. La crítica central es que la mayoría de los fenómenos de interés científico, especialmente en biología, ecología, sociología y ciencias de la Tierra, son intrínsecamente **sistemas abiertos y dinámicos**. Modelar un organismo vivo o una sociedad como cerrado conduce a una comprensión incompleta o distorsionada de su funcionamiento, ya que ignora la dependencia crítica del entorno para la supervivencia, la adaptación y el desarrollo, procesos que requieren un flujo constante de materia.

En la práctica ingenieril, la limitación principal es la dificultad de alcanzar un cierre perfecto. Los sistemas reales siempre tienen fugas o imperfecciones en sus fronteras que permiten un intercambio menor de materia, lo que introduce errores en los cálculos precisos. Por ejemplo, en el caso de un motor, siempre hay una pequeña pérdida de masa por evaporación o fugas microscópicas. Además, la idealización de un sistema cerrado ignora los efectos de la radiación gravitacional o las interacciones a largo alcance que pueden desafiar la definición estricta de las fronteras físicas, especialmente en contextos astrofísicos o de mecánica cuántica.

Desde una perspectiva metodológica, el uso excesivo del modelo cerrado puede fomentar una mentalidad de "caja negra" que descuida las interconexiones sistémicas. Al centrarse únicamente en las transformaciones internas y los flujos de energía controlados, los investigadores pueden perder de vista las complejas retroalimentaciones, las entradas de información y las interacciones con subsistemas adyacentes que son vitales para la estabilidad y la resiliencia de los sistemas complejos. Por lo tanto, mientras que el sistema cerrado es una herramienta indispensable para el análisis termodinámico fundamental, debe ser aplicado con cautela y conciencia de sus limitaciones contextuales cuando se extrapola a sistemas vivos o sociales.

9. Lecturas Adicionales

[Termodinámica - Wikipedia](#)

[Teoría de sistemas - Wikipedia](#)

[Ciclo Rankine - Wikipedia](#)

[Biosfera 2 - Wikipedia](#)

ARABPSYCHOLOGY.COM