

ENTROPÍA Y NEGENTROPÍA: UNA REVISIÓN TEÓRICA Y METODOLÓGICA

EDGAR JAIMES, YALITZA RAMOS, NEIDA PINEDA Y ENVER JAIMES

RESUMEN

Se llevó a cabo una actualización del estado del arte sobre la entropía y la negentropía, con el objetivo de analizar los aportes teóricos y metodológicos desarrollados por diversos investigadores. El análisis se inscribe en el marco de la complejidad, considerada en términos de sus argumentos, principios y visión sistémica. Como punto de partida, se retoma el concepto de entropía total de un sistema (S^{tot}), para luego poner de relieve los principales aportes teóricos asociados a dicho concepto, comenzando por la entropía física (S^{phys}), seguida de la en-

tropía propia (S^{op}), posteriormente la entropía de información (S^{inf}) y, finalmente, la articulación entre entropía y negentropía, según diversos enfoques teóricos. A partir de la disertación desarrollada, se puntualizan una serie de conclusiones en las cuales se plantean premisas básicas sobre ambos principios termodinámicos y su estrecha relación con la homogeneidad multivariada de los sistemas complejos, con el propósito de favorecer el intercambio científico y la profundización de los aportes teóricos y metodológicos propuestos en este trabajo.

Introducción

La segunda ley de la termodinámica establece que la entropía "...será siempre positiva, caracterizando la transformación de los sistemas desde un estado organizado hacia otro desorganizado"

(Capra 2006; Rifkin, 1990; Çengel y Boles, 2012). Esta ley fue interpretada, desde otra perspectiva, por Prigogine (1997), de acuerdo a la cual, cualquier sistema físico, si no se le disturba, procede hacia un estado de máximo desorden. Si ya se encuentra en dicho estado, entonces el sistema permanecerá invariable.

En este contexto, Boltzmann, citado por Haddad (2017), desarrolló las bases de lo que hoy se conoce como termodinámica estadística, estrechamente asociada con la entropía, de acuerdo con la expresión:

$$S = k_B \ln \Omega \quad (1)$$

PALABRAS CLAVE / Complejidad / Entropía Física / Entropía de Información / Entropía Propia / Negentropía /

Recibido: 26/10/2025. Modificado: 28/01/2026. Aceptado: 31/01/2026.

Edgar Jaimes (Autor de correspondencia). Ingeniero Agrónomo. Agrólogo, Magíster Scientiarum y Doctor en Ciencia del Suelo. Profesor, Núcleo Universitario Rafael Rangel (NURR), Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. Académico Correspondiente Nacional. Academia Nacional de la Ingeniería y del Hábitat (ANIH), Venezuela. Dirección: Av. Isaías Medina Angarita, Sector Carmona, Trujillo, estado Trujillo, Venezuela. e-mail: jaimes.5060@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3653-0241.

Yalitza Ramos. Licenciada en Comunicación Social. Magíster Scientiae en Desarrollo Regional. Doctora en Comunicación e Información Contemporánea. Miembro fundacional del Instituto de Investigación de Física de la Información, (IPI), Reino Unido. Colaboradora de Investigación, Universidad de LUMSA, Italia. ORCID: 0000-0002-5556-4474.

Neida Pineda. Ingeniera Agrícola. Magíster Scientiarum en Ciencia del Suelo. Venezuela. Doctora en Ciencias Agrarias. Profesora e investigadora del Grupo de Investigación de Suelos y Aguas (GISA), NURR-ULA. ORCID: 0009-0006-3675-6055.

Enver Jaimes. Ingeniero de Computación. Magister en Administración de Negocios. Gerente de Ingeniería de Software en SASA - Soluciones de Autoservicios y Servicios Asociados, México. Especialista en la integración de software en el área de financiera. ORCID: 0009-0002-9861-2795.

donde S : entropía, k_B : constante de Boltzmann, Ω : número de microestados. La base teórica de la esta formulación indica que los sistemas termodinámicos con un nivel de energía constante evolucionan desde un estado menos probable (máxima heterogeneidad) hacia un estado de mayor probabilidad, el cual se expresa como una alta homogeneidad, es decir, como un incremento de la entropía. Posteriormente, Thomas (1980), con base en Shannon (1948), Shannon y Weaver (1949), definió la entropía de un sistema según esta formulación:

$$S^{\circ}s = \sum P_i \log (1/P_i) = - \sum P_i \log P_i \quad (2)$$

donde $S^{\circ}s$: entropía de un sistema dado, n : número de eventos posibles dentro del sistema, P_i : probabilidad de ocurrencia de un evento “ i ” de los “ n ” posibles dentro del sistema, $\sum$: sumatoria desde los “ i ” hasta “ n ” eventos posibles dentro del sistema.

De acuerdo con la expresión (2), se deduce que la entropía interna de cualquier sistema depende de dos propiedades fundamentales: la intensidad con que cada componente participa en la conformación del sistema (P_i) y el patrón de distribución espacial de los eventos o componentes dentro del sistema, lo cual ratifica la naturaleza estadística (probabilística) de la entropía, previamente establecida por Boltzmann, citado por Haddad (2017).

Asimismo, Thomas (1980) planteó que las condiciones que determinan la mínima entropía de un sistema abierto ocurren cuando las probabilidades de los “ n ” eventos o componentes (P_i) son iguales, es decir, cuando todas las probabilidades tienen el valor de $1/n$. Sustituyendo esta definición en la ecuación 2, se obtiene que la entropía mínima ($S^{\circ}\min$) es:

$$\begin{aligned} S^{\circ}\min &= - \sum (1/n) \log (1/n) \\ &= - \sum (1/n) \log n = \log n \end{aligned} \quad (3)$$

Que también puede expresarse como:

$$S^{\circ}\min = \log n$$

Con base en lo anterior, se deduce que mientras más heterogénea sea la contribución de los componentes del sistema, mayor negentropía exhibirá, por lo que su entropía interna tenderá a ser mínima. Por el contrario, un sistema será entrópico (entropía interna máxima) en la medida en que la expresión de sus componentes sea más homogénea (Prigogine *et al.*, 1984; Prigogine, 1999).

En este marco conceptual, el objetivo general de este trabajo es actualizar el estado del arte sobre la función de estado de la entropía y de su correlato inverso, la negentropía, con base en los aportes teóricos y metodológicos indicados por investigadores como: Van Campen (2024 y 2025); Vopson (2025); Swami y Dumas (2020) y Jaimes (1988, citado por Jaimes Cárdenas, 2024).

La revisión del estado del arte se fundamenta en el análisis y discusión de los siguientes aspectos teóricos y metodológicos.

Entropía física

De acuerdo con Volobuyev y Ponomarev (1977), para determinar la entropía de formación de los componentes físicos de un sistema ($S^{\circ}\text{phys}$), es necesario conocer la composición submodal de cada una de las fases (sólida, líquida, gaseosa y plásmica) que definen la estructura de un sistema termodinámico abierto.

Con base en las referencias bibliográficas citadas, la sustentación del concepto de entropía física se fundamenta en las entropías de formación de los siguientes componentes: sólidos ($S^{\circ}\text{cso}$), líquidos ($S^{\circ}\text{cliq}$), gaseosos ($S^{\circ}\text{cgas}$) y plásmicos ($S^{\circ}\text{cplas}$), tal como se expresa en la siguiente expresión:

$$S^{\circ}\text{tot} \equiv S^{\circ}\text{phys} = S^{\circ}\text{cso} + S^{\circ}\text{cliq} + S^{\circ}\text{cgas} + S^{\circ}\text{cplas} \quad (4)$$

A partir de (4) se deduce que la entropía total interna de un sistema ($S^{\circ}\text{tot}$) es equivalente ($\equiv$) a su entropía física ($S^{\circ}\text{phys}$), en términos de las

entropías de formación de sus componentes; no obstante, este valor debe complementarse con otras contribuciones entrópicas, correspondientes a la entropía propia del sistema y a la entropía de información, las cuales se desarrollan en las secciones siguientes.

Entropía propia

El sistema natural se define como un ente que posee energía interna de formación y entropía física, pero que además presenta una organización interna definida por una función de estado, que Jaimes (1988) denominó entropía propia. En este trabajo, el sistema natural hace referencia al suelo, al paisaje de suelos o sistema pedogeomorfológico y al ecosistema, con base en la definición propuesta por Elizalde *et al.* (2007), según la cual estos sistemas: “...corresponden a la zona donde interactúan los componentes sólidos de la Tierra (rocas, regolitos, sedimentos y suelos) con el agua, la atmósfera y la biosfera. Se caracteriza por un determinado relieve, condición climática, contenido edáfico y valores estéticos”. Por esta razón, el paisaje de suelos se considera equivalente al sistema pedogeomorfológico (Elizalde y Jaimes, 1989; Jaimes, 1988).

En la Figura 1 se presenta un modelo idealizado de dos sistemas contrastantes. El modelo 1-1 representa un sistema tridimensional correspondiente a un pedón (USDA, 2017; Foth 1985; Porta *et al.* 2014) de conformación interna más simple (dos horizontes), en contraste con el modelo 1-2, que se encuentra estructurado por un mayor número de estratos. En ambos casos se asume

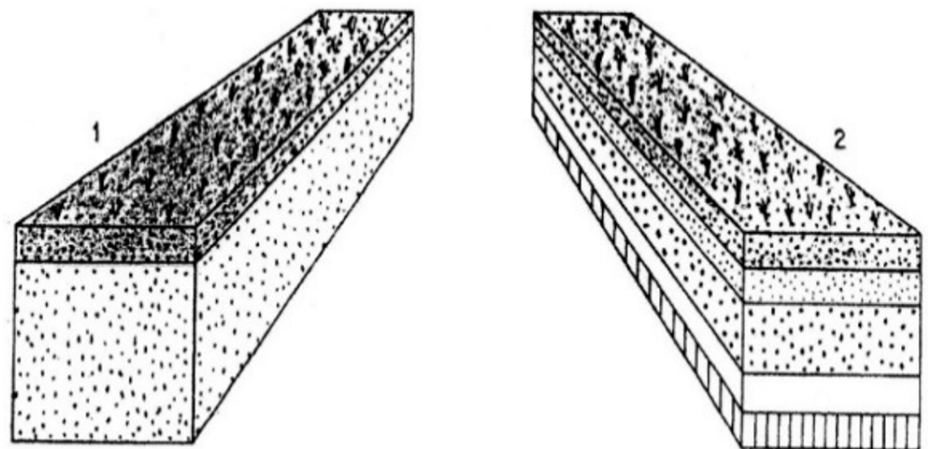


Figura 1. Comparación del ordenamiento interno de los componentes individuales en pedones con perfiles de suelo idealizados. Estos modelos tridimensionales son para fines comparativos. Fuente: Jaimes E (1988).

que los componentes sólidos (orgánicos e inorgánicos), líquidos, plásmicos y gaseosos son los mismos y se encuentran en igual proporción.

Si a los sistemas representados en los modelos 1-1 y 1-2 de la Figura 1 se determinara la cuantía de su energía libre y entropía de formación, utilizando el procedimiento propuesto por Volubuyev y Ponomarev (1977), podría resultar que el valor y el signo de ambas funciones de estado fueran similares en ambos modelos, dado que están formados por los mismos componentes y en las mismas proporciones, lo cual sugeriría que los dos sistemas serían termodinámicamente equivalentes.

Sin embargo, la metaestabilidad, el funcionamiento y la tendencia evolutiva de los sistemas pedogeomorfológicos no pueden determinarse únicamente a partir de la suma de las variables de estado que caracterizan la energía interna y la entropía de formación de sus componentes, sino que también debe considerarse la forma en que dichos componentes se organizan en cada caso. Este ordenamiento puede ser estimado mediante el grado de homogeneidad del sistema, el cual es equivalente a la entropía propia ($S^{\circ}p$), de acuerdo con la expresión (5), a saber:

$$S^{\circ}tot = S^{\circ}phys + S^{\circ}p \quad (5)$$

donde: $S^{\circ}tot$: entropía total interna del sistema, $S^{\circ}phys$: entropía asociada a los componentes físicos del sistema, y $S^{\circ}p$: entropía propia del sistema.

Al reemplazar la expresión (4) en la ecuación (5), se obtiene el modelo expresado en la (6), que integra la entropía propia del sistema ($S^{\circ}p$) dentro del concepto de entropía total interna ($S^{\circ}tot$), la cual deriva de la entropía física ($S^{\circ}phys$), a su vez asociada con las entropías de formación de cada una de las fases que la definen; es decir:

$$S^{\circ}tot \equiv S^{\circ}phys = (S^{\circ}cso + S^{\circ}cliq + S^{\circ}cgas + S^{\circ}cplas) + S^{\circ}p \quad (6)$$

El análisis que condujo a la definición del IHM como representación de $S^{\circ}p$ fue desarrollado por Jaimes (1988) y por Jaimes y Elizalde (1991a, 1991b). En consecuencia, en esta sección se presenta una síntesis de los aspectos más relevantes, sustentados en la siguiente hipótesis: Existe la posibilidad de determinar experimentalmente un Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM) global del sistema pedogeomorfológico, tal que dicho índice sea una función proporcional al valor de la Entropía Propia del sistema. Esta

premisa fundamental se formaliza en (7):

$$IHM = f S^{\circ}p \quad (7)$$

donde: IHM: Índice de Homogeneidad Múltiple, f : Simboliza la expresión: "...en función de...", $S^{\circ}p$: entropía propia del sistema pedogeomorfológico, que refleja el grado de ordenamiento interno de los componentes del sistema.

La metodología de análisis estadístico empleada por Jaimes (1988) se fundamentó en el Análisis por Componentes Principales (ACP), con el propósito de procesar la matriz de datos multivariada derivada de la caracterización pedogeomorfológica. Este método genera componentes principales que se caracterizan por su independencia, bajo el supuesto de multinormalidad y ausencia de autocorrelación (Pla, 1986).

El primer resultado del ACP corresponde a la matriz de correlación, a partir de la cual se obtienen los valores propios (eigenvalues) y, con base en estos, se define el IHM, dado que cada valor propio resume la máxima variabilidad residual contenida en los datos originales. Se adoptó el criterio de seleccionar aquellos valores propios mayores o iguales a uno ($\lambda \geq 1,00000$), con el fin de facilitar los cálculos matemáticos requeridos para la determinación del IHM.

Posteriormente, se efectuaron ensayos mediante la aplicación de diversas operaciones matemáticas a dichos valores propios, con el objetivo de obtener índices proporcionales a la homogeneidad pedogeomorfológica multivariada buscada. Los procedimientos matemáticos evaluados fueron los siguientes:

- Producto acumulado de los valores propios mayores o iguales a uno ($\lambda \geq 1,00000$).
- Sumatoria de los valores propios mayores o iguales a uno ($\lambda \geq 1,00000$).
- Producto promedio de los valores propios ($\lambda \geq 1,00000$), acumulados factorialmente.
- Media aritmética de los valores propios mayores o iguales a uno ($\lambda \geq 1,00000$).
- Media geométrica de los valores propios mayores o iguales a uno ($\lambda \geq 1,00000$).

Se recomienda la consulta del trabajo de Jaimes Cárdenas (2024), donde se detallan las fórmulas matemáticas definidas por Jaimes (1988) y por Jaimes y Elizalde (1991a, 1991b), utilizadas para obtener los parámetros que definen la homogeneidad multivariada.

De los cinco parámetros evaluados, el que resultó más adecuado para ser utilizado como IHM fue el producto acumulado ($\pi\lambda_j$) de los valores

propios $\lambda_j \geq 1,00000$, formulado en (8), es decir:

$$\lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \dots \times \lambda_{j-1} \times \lambda_j = \pi\lambda_j \quad (8)$$

La comprobación de que el parámetro $\pi\lambda_j$ constituye un indicador representativo del IHM se sustentó en la aplicación de diversos modelos de análisis de correlación (lineal, logarítmica y potencial) entre dicho parámetro y la inversa de las sumatorias de las varianzas calculadas para cada variable, expresadas en porcentaje (%), la cual actúa como un estimador de la homogeneidad multivariada. La relación formalizada en (9) sintetiza este planteamiento, es decir:

$$\lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \dots \times \lambda_{j-1} \times \lambda_j = \pi \lambda_j \equiv (1 / \sum \text{Varianzas}) \times 100 \quad (9)$$

donde: $(1 / \sum \text{Varianzas}) \times 100$ representa un estimador de la homogeneidad multivariada, de acuerdo con la relación de regresión lineal simple obtenida, presentada en (10), es decir:

$$\pi\lambda_j = 27,34 + 0,63 (1 / \sum \text{Varianzas}) \quad (10)$$

El coeficiente de correlación ($r = 0,64^*$), correspondiente al modelo lineal formulado en (10), resultó significativo al 95% de probabilidad, lo que permitió precisar la bondad de ajuste del índice como estimador de la homogeneidad múltiple de los sistemas pedogeomorfológicos. En consecuencia, el IHM utilizado desde 1988 en los estudios del paisaje de suelos y de otros sistemas termodinámicamente abiertos es el expresado en la ecuación (11), es decir:

$$IHM = \pi\lambda_j \equiv S^{\circ}p \quad (11)$$

La validez del IHM fue verificada mediante diversos proyectos de investigación cuyos resultados fueron publicados por Jaimes *et al.* (2005, 2006, 2012, 2015, 2022), Pineda *et al.* (2006, 2008, 2012) y Larreal *et al.* (2012).

Entropía de la información

Dentro del marco conceptual de la entropía, Vopson y Lepadatu (2022) establecieron que: "La entropía total del sistema ($S^{\circ}tot$) es una medida de todos sus posibles microestados físicos compatibles con el macroestado... (denominando) a esto entropía física del sistema ($S^{\circ}phys$)...", la cual se caracteriza por corresponder a microestados que no contienen información dentro del sistema", es decir:

$$S^{\circ}tot = S^{\circ}phys \quad (12)$$

No obstante, estos investigadores consideraron que la totalidad de los componentes físicos de un sistema, en todas las escalas (microscópica y macroscópica), constituyen generadores de información expresada en unidades de bits. En consecuencia, los N componentes físicos (microestados y macroestados), incluyendo el sonido o ruido, actúan como portadores de información, lo que permite incorporar el valor de la entropía de información ($S^{\circ}inf$), junto con el de la entropía física ($S^{\circ}phys$), como partes integrantes de la entropía total del sistema, conforme a la relación (13):

$$S^{\circ}tot = S^{\circ}phys + S^{\circ}inf \quad (13)$$

El aporte teórico propuesto en este trabajo se fundamenta en el concepto de entropía propia ($S^{\circ}p$) como función de estado que define el grado de ordenamiento de los componentes físicos de cualquier sistema termodinámico, la cual puede determinarse a través del IHM (Jaimes, 1988). En consecuencia, se plantea la incorporación del valor de $S^{\circ}p$ dentro del concepto de entropía física ($S^{\circ}phys$), indicado por el modelo de Vopson y Lepadatu (2022). Así, la relación formulada en (13) se transforma en la formulación expresada en (14):

$$S^{\circ}tot = (S^{\circ}phys + S^{\circ}p) + S^{\circ}inf \quad (14)$$

donde $S^{\circ}tot$: entropía total del sistema, $S^{\circ}phys$: entropía de los componentes físicos del sistema, $S^{\circ}p$: entropía propia asociada con el ordenamiento de los componentes físicos del sistema, y $S^{\circ}inf$: entropía de información derivada de los componentes físicos del sistema.

La función de estado $S^{\circ}inf$, indicada en (13) y (14), fue analizada por Vopson y Lepadatu (2022) mediante el algoritmo micromagnético de Monte Carlo, determinándose que sus valores se expresan de manera inversa a lo establecido por la segunda ley de la termodinámica, toda vez que se mantienen constantes o disminuyen durante el tiempo que dura el ensayo de prueba.

Este comportamiento permitió definir la segunda ley de la dinámica de la información (infodinámica), cuyo modelo se expresa como sigue:

$$\partial S^{\circ}inf / \partial t \leq 0 \quad (15)$$

No obstante, los datos obtenidos durante el ensayo indicaron que el sistema evoluciona en función del tiempo conforme a lo establecido por la segunda ley de la termodinámica, en lo

que respecta a los valores de $S^{\circ}phys$ y $S^{\circ}tot$, es decir:

$$\partial S^{\circ}phys / \partial t > 0 \quad (16)$$

$$\partial S^{\circ}tot / \partial t > 0 \quad (17)$$

Vopson y Lepadatu (2022) señalan que la nueva ley de la infodinámica no viola la segunda ley de la termodinámica, ya que la reducción del valor de $S^{\circ}inf$ formulada en (15) es compensada por un aumento del valor de $S^{\circ}phys$ expresado en (16), permitiendo el incremento del valor de $S^{\circ}tot$ indicado en (17) mediante un mecanismo basado en el principio de Irreversibilidad Lógica (IL), establecido por Landauer (1961). A través de este mecanismo, el sistema disipa entropía al entorno ambiental, conforme al principio de equivalencia de masa = energía = información ($M = E = I$), propuesto por Vopson (2019).

Adicionalmente, resulta pertinente considerar la contribución del valor de $S^{\circ}p$ (Jaimes, 1988), junto con el de $S^{\circ}IL$ (Landauer, 1961), como partes integrantes del mecanismo de compensación de la disminución de la entropía de información ($S^{\circ}inf$) reportada por Vopson y Lepadatu (2022). En consecuencia, la formulación establecida en (14) se transforma en el modelo siguiente:

$$S^{\circ}tot = (S^{\circ}phys + S^{\circ}p) + S^{\circ}inf + S^{\circ}IL \quad (18)$$

Del análisis de (18) se deduce que el valor de $S^{\circ}tot$ del sistema físico depende, en función del tiempo, de los valores de $S^{\circ}phys$, $S^{\circ}p$, $S^{\circ}inf$ y $S^{\circ}IL$, razón por la cual su magnitud será siempre mayor que cero ($S^{\circ}tot > 0$), conforme a lo postulado por la segunda ley de la termodinámica, es decir:

$$\partial S^{\circ}tot / \partial t = (\partial S^{\circ}phys / \partial t + \partial S^{\circ}p / \partial t + \partial S^{\circ}inf / \partial t + \partial S^{\circ}IL / \partial t) > 0 \quad (19)$$

En síntesis, los valores de $S^{\circ}p$ y $S^{\circ}IL$ constituyen funciones de estado que incrementan el valor de $S^{\circ}tot$, según los modelos presentados en (17), (18) y (19), compensando el déficit entrópico detectado por el modelo descrito en (15).

Diferencia Conceptual entre Entropía y Negentropía

En esta sección se analizan los conceptos de entropía y negentropía como principios termodinámicos opuestos y estrechamente vinculados, cuantificables a través de índices multivariados propuestos por diversos investigadores (Vopson, 2025; Van Campen, 2024,

2025; Swami y Dumas, 2020; Jaimes, 1988). Previo al examen de estos modelos, desarrollados en detalle en la sección VI, resulta pertinente revisar las diferencias teórico-conceptuales más relevantes entre ambos principios, es decir:

La entropía aumenta espontáneamente en un sistema cerrado; sin embargo, en tales condiciones, la negentropía se encuentra conceptualmente limitada en la dimensión espacio-temporal, por lo que solo puede aplicarse a sistemas abiertos (Capra, 2006; Rifkin, 1990).

La negentropía, en el contexto de la teoría matemática de la comunicación desarrollada por Shannon y Weaver (1949) y posteriormente ampliada por Brillouin (1953), constituye el parámetro que mejor se asocia con la calidad de la información contenida en un mensaje, permitiendo su interpretación en relación con la estructura y organización de los sistemas que son objeto de dicha información.

La entropía se define como una medida del desorden o de la aleatoriedad dentro de un sistema; en contraste, la negentropía se interpreta como el surgimiento, mantenimiento y evolución de los entes bióticos en términos de estructura, organización u orden (Schrödinger, 1944).

De acuerdo con Garza (2020), en el contexto de la emergencia del Universo Observable (Big Bang), la entropía presentó inicialmente un valor mínimo, que podría alcanzar una cuantía máxima al final de la expansión de dicho universo. No obstante, Swami y Dumas (2020) destacan que la negentropía debe considerarse como un proceso-respuesta necesario para la emergencia, mantenimiento y evolución de estructuras complejas; por lo tanto, puede interpretarse como una fuerza creadora que impediría la “muerte térmica” del universo.

La negentropía, como expresión del orden derivado de la heterogeneidad, y la entropía, como manifestación del desorden asociado con la homogeneidad, implican que ambos principios se requieren mutuamente, dado que uno emerge del otro; en consecuencia, el desorden posibilita la generación de un orden diferente y más coherente (Moriello, 2013).

Balance entropía ↔ negentropía

Para comprender este balance, resulta pertinente adoptar un enfoque macroscópico mediante la contextualización de subsistemas insertos en sistemas de mayor jerarquía, conforme a las escalas de expresión de la totalidad (Jaimes Cárdenas, 2024). Según este

enfoque, cada nivel jerárquico engloba un grado específico de complejidad en el cual emergen propiedades que no se manifiestan en otros niveles, dado que los sistemas son simultáneamente autónomos y dependientes, conforme a la manifestación de los procesos-respuesta derivados de su propia complejidad (Almeida, 2008; Morin, 2004).

De este modo, el balance entropía ↔ negentropía depende del patrón de flujos de materia (M), energía (E) e información (I) que tienen lugar dentro y entre los sistemas identificados en cada una de estas jerarquías (Jaimes Cárdenas, 2024; Bertalanffy, 1968; Capra, 2006).

El balance implícito en este modelo se fundamenta en tres Procesos-Respuesta: ingresos (I), egresos (E) y transformaciones (T) de M-E-I. Se sugiere la consulta del trabajo de Jaimes Cárdenas (2024), donde se detallan las definiciones y otros elementos que determinan este balance.

Modelos de Cuantificación de la Entropía y la Negentropía

A continuación, se presentan los principales aspectos que definen estos modelos.

Modelo de VanCampen (2024 y 2025)

Este modelo permite evaluar la funcionalidad o disfuncionalidad de los sistemas complejos de acuerdo con las siguientes relaciones:

$$(m - i) > r \rightarrow \Delta S > 0 = \text{Sistemas disfuncionales} \quad (20)$$

$$(m - i) \leq r \rightarrow J > 0 = \text{Sistemas funcionales} \quad (21)$$

donde m: masa o materia, entendida en términos de energía o recursos. Incluye todo aquello que pueda percibirse como masa, por ejemplo, un agroecosistema, sistemas sociales urbanos, periurbanos o rurales, entes gubernamentales o empresas, entre otros, i: eficiencia, conocimiento o coordinación dentro del sistema. Se asume como el grado de certeza o incertidumbre respecto a la metaestabilidad de los procesos-respuesta asociados con los ingresos, egresos y transformaciones de la materia (masa), la energía y la información, dentro y entre sistemas complejos; r: variable que define el contexto o los límites ambientales de la realidad. Dentro de esta variable compleja se establece el balance de los procesos-respuesta que determinan el umbral de metaestabilidad del sistema, en términos de capacidad de carga, límites de elasticidad y resiliencia, así como

tendencias evolutivas hacia la sostenibilidad o la insostenibilidad.

La metaestabilidad del sistema será disfuncional (20) si, y solo si, su variación de entropía es mayor que cero ($\Delta S > 0$). Esta condición se presenta cuando la masa y la cuantía o calidad de la información, dentro y fuera del sistema, no se ajustan al contexto, de modo que $(m - i) > r$ genera un incremento del desorden y de la incoherencia entre sus componentes, conduciendo al caos, al desperdicio de materia y energía y, eventualmente, al colapso.

Por el contrario, el comportamiento funcional (21) de un sistema complejo se expresa a través de su negentropía ($J > 0$). Esta condición se cumple cuando la masa y la cuantía o calidad de la información se acoplan al contexto, de manera que $(m - i) \leq r$ favorece el surgimiento de una estructura organizativa más eficiente. En tales circunstancias, se optimiza la dinámica de la materia, la energía y la información dentro del sistema y su entorno, se minimiza el desperdicio y el caos, y se fortalece la resiliencia sistémica. En términos entrópicos, ello equivale a una variación de entropía menor o igual a cero ($\Delta S \leq 0$).

Según Van Campen (2024), el modelo de funcionalidad deriva de una reformulación conceptual de la ecuación de Einstein:

$$E = mc^2 \quad (22)$$

La cual se transforma en:

$$E = mic^2 \quad (23)$$

donde i representa la información que modifica la expresión original, convirtiéndola en un modelo crítico que permite estimar el grado de disfuncionalidad del sistema asociado con $\Delta S > 0$, así como la valoración de su funcionalidad vinculada con $J > 0$ o, en términos entrópicos, con $\Delta S \leq 0$.

En síntesis, la manifestación de una funcionalidad adecuada en un sistema complejo depende de la preservación de un flujo de información eficaz.

Modelo de Vopson (2025)

Las premisas que sustentan esta propuesta teórica se fundamentan en una concepción de la gravedad como fuerza negentrópica, basada en el principio de equivalencia $M = E = I$ (Masa = Energía = Información). Desde esta perspectiva, la gravedad no solo se interpreta como interacción física, sino

como manifestación de procesos informacionales que inciden en la dinámica entrópica del universo.

Aunque el modelo no resuelve definitivamente la cuestión acerca de si el universo constituye un constructo computacional, resulta consistente con la vinculación entre la naturaleza negentrópica de la gravedad y la cualidad entrópica de la información, en la medida en que esta relación contribuiría a ralentizar la entropía total del universo.

Modelo de Swami y Dumas (2020)

Este modelo fue desarrollado a partir de la denominada Teoría I, con el propósito de proponer un enfoque alternativo sobre los conceptos de entropía y negentropía a nivel cuántico.

En este marco conceptual, la entropía se asocia con procesos que generan repulsión, vinculados a la acción de campos de Fuerza Débil (S_{∞}), mientras que la negentropía se relaciona con procesos que producen atracción y cohesión, atribuidos a la acción de campos de Fuerza Fuerte (A_{∞}), asociados con el Bosón de Higgs. A partir de esta distinción, se propone la noción de Inteligencia Creativa como expresión de la negentropía y de Inteligencia Destructiva como manifestación de la entropía.

Modelo de Jaimes (1988)

Este modelo se fundamenta en el concepto de entropía propia (S^o_p) de los sistemas complejos, cuya formulación se presenta en (7) y cuya estimación se realiza mediante el Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM), conforme a lo indicado en (11). Su principal ventaja radica en que permite estimar simultáneamente la incidencia de la entropía y la negentropía, tanto entre como dentro de los sistemas complejos.

La premisa central establece que el sistema o subsistema que exhibe el mayor valor de IHM presenta mayor entropía ($\Delta S > 0$), mientras que un valor menor de IHM constituye la expresión de una mayor negentropía ($\Delta S \leq 0$).

La validez empírica de estas premisas fue evaluada mediante el análisis de características morfológicas (Jaimes *et al.*, 2012) y fisicoquímicas (Larreal *et al.*, 2012) correspondientes a tres series de suelos localizadas en la altiplanicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

Las series de suelo fueron identificadas como S1 (Maracaibo), S2 (San Francisco) y S3 (Cortijos), y clasificadas taxonómicamente a nivel de familia textural y mineralógica como

Typic Paleargids, francosa fina, caolinítica; Typic Paleargids, arcillosa fina, caolinítica; y Typic Paleargids, francosa fina, caolinítica, respectivamente. A nivel de familia textural, las series S1 y S3 presentan similitud, mientras que S2 difiere de ambas.

Cada serie evaluada está representada por una población de diez perfiles típicos de suelo (pedones), distribuidos en un patrón aleatorio representativo de la totalidad de cada serie, con igual clasificación taxonómica para los diez pedones que la conforman. Todos los pedones descritos y muestreados presentan la misma profundidad (2,5 m) y el mismo número de horizontes.

El pedón (Lat. ped: suelo; on: unidad) designa el volumen más pequeño que representa el perfil de un suelo y el arreglo vertical de sus horizontes, desde la superficie hasta una profundidad de 2,5 m. Constituye la unidad básica para la descripción, muestreo y clasificación taxonómica del suelo. Su área superficial puede variar entre 1m² y 5m², dependiendo de la variabilidad espacial (USDA, 2017).

El polipedón se define como el conjunto de pedones similares y contiguos que representan la población total de suelos distribuidos en un área con características homogéneas. Constituye la unidad mínima de mapeo, con una superficie superior a 5m² y que puede alcanzar hasta 10.000m², dependiendo del grado de homogeneidad de los suelos que lo integran (USDA, 2017).

Las series mencionadas pueden asumirse como polipedones independientes. Para una representación esquemática del pedón y su relación con el polipedón, puede consultarse Foth (1985) y Porta *et al.* (2014), citados por Jaimes Cárdenas (2024).

Para la validación del modelo de Jaimes (1988), se emplearon las características morfológicas y fisicoquímicas (Tabla I) descritas por Jaimes *et al.* (2012) y Larreal *et al.* (2012), respectivamente.

A continuación, se presentan los análisis e interpretaciones derivados de los valores de IHM obtenidos en dichos estudios, con el fin de examinar la incidencia simultánea de la entropía y la negentropía asociadas con la morfología y la fisicoquímica de las tres series de suelo señaladas.

Entropía y Negentropía Asociadas con la Morfología del Suelo

Los resultados obtenidos permitieron comprobar que las tres series analizadas constituyen unidades

taxonómicas independientes, cada una con grados específicos de homogeneidad. El análisis estableció la siguiente secuencia decreciente de homogeneidad morfológica:

Serie S2 (San Francisco) > Serie S3 (Los Cortijos) > Serie S1 (Maracaibo)

(IHM S2 = 35,27) > (IHM S3 = 32,17) > (IHM S1 = 17,45)

Dado que el IHM constituye un parámetro representativo de la entropía del sistema, se infiere que la serie S2 exhibe la mayor entropía y la serie S1 la menor, mientras que S3 presenta un nivel intermedio. En sentido inverso, S1 manifiesta mayor negentropía y S2 menor negentropía, correspondiendo a S3 una condición intermedia.

Entropía y Negentropía Asociadas con la Físicoquímica del Suelo

Un análisis similar se realizó para evaluar la homogeneidad asociada a las características fisicoquímicas de cada una de las series de suelos antes mencionadas. En este caso, se obtuvo la siguiente secuencia decreciente de homogeneidad fisicoquímica entre las series S1, S2 y S3, esto es:

Serie S1 (Maracaibo) > Serie S2 (San Francisco) > Serie S3 (Los Cortijos)

(IHM S1 = 37,19) > (IHM S2 = 31,57) > (IHM S3 = 22,40)

Como se observa en la secuencia de homogeneidad fisicoquímica antes indicada, las series S1 y S3 son las que muestran la mayor y la menor entropía, respectivamente. En sentido inverso, conforme a lo antes establecido, las series S3 y S1 son las de mayor y menor negentropía, respectivamente, siendo la serie S2 la que muestra un valor intermedio de negentropía o entropía, lo cual comprueba nuevamente la validez del IHM como índice dual útil para estimar la incidencia simultánea de ambas funciones de estado.

Los análisis antes presentados fueron también comprobados en estudios geomorfológicos (Pineda *et al.*, 2012), geológicos (Pineda *et al.*, 2008), climatológicos (Pineda *et al.*, 2006) y bioclimáticos (Jaimes *et al.*, 2006), en los cuales se aplicó el IHM, objeto de esta revisión bibliográfica.

Es oportuno destacar que, para efectuar el cálculo automático del IHM utilizando bases de datos provenientes de los estudios de campo y laboratorio realizados en los sistemas complejos (paisajes de suelos, ecosistemas, regiones climáticas y bioclimáticas, entre otros), se aplica el Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT), propuesto por Daza y Elizalde (1998), actualizado por Jaimes *et al.* (2022) y

TABLA I
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICOQUÍMICAS IDENTIFICADAS EN LOS PERFILES DE SUELO DESCRITOS EN LAS SERIES OBJETO DE ANÁLISIS DEL IHM

Características morfológicas	Características fisicoquímicas
1. Textura	1. Grosor de horizontes (cm)
2. Color seco Matiz (Hue)	2. Densidad aparente (g/cm ³)
3. Color seco Intensidad (Value)	3. Contenido de arenas (%)
4. Color seco Pureza (Croma)	4. Contenido de arcilla (%)
5. Color húmedo Matiz (Hue)	5. Hidrogeniones en pasta (H ⁺ x10 ⁻³)
6. Color húmedo Intensidad (Value)	6. Hidrogeniones en agua (H ⁺ x10 ⁻³)
7. Color húmedo Pureza (Croma)	7. Humedad retenida (%)
8. Estructura (Grado de desarrollo)	8. Conductividad eléctrica (dS/m)
9. Estructura (Tamaño)	9. Contenido de carbono orgánico (%)
10. Consistencia seca	10. Contenido de fósforo (ppm)
11. Consistencia húmeda	11. Contenido de calcio ⁺² (Cmol/100 g)
12. Consistencia mojada (Plasticidad)	12. Contenido de magnesio ⁺² (Cmol/100 g)
13. Consistencia mojada (Adhesividad)	13. Contenido de potasio ⁺¹ (Cmol/100 g)
14. Cutanes de arcilla	14. Contenido de sodio ⁺¹ (Cmol/100 g)
15. Contenido de raíces	15. Acidez intercambiable (H ⁺ x10 ⁻³)
16. Actividad biológica	16. Intercambio de cationes (Cmol/100 g)

Fuentes: Jaimes *et al.*, (2012) y Larreal *et al.*, (2012).

actualmente en proceso de redefinición como nuevo desarrollo informático por parte de Jaimes *et al.* (2026).

La importancia metodológica del IHM radica en que puede utilizarse como criterio de evaluación integral de unidades de suelos, ecosistemas, agroecosistemas y cuencas hidrográficas, entre otros sistemas complejos, con fines de manejo agroproductivo y conservación de los recursos naturales renovables (suelo, agua, bosques y fauna). Esta fortaleza instrumental también es aplicable a otros tipos de sistemas complejos (sociales, económicos, políticos, entre otros).

Según Jaimes *et al.* (2026), socialmente la entropía puede interpretarse como la expresión de la disfuncionalidad en la sociedad, evidente a través de los siguientes aspectos: a) aumento de la incertidumbre y la imprevisibilidad; b) debilidad institucional; c) fragmentación social; y d) desigualdad y caos.

Sin embargo, el ideal de una “sociedad ordenada” se basa en la existencia de estructuras y procesos-respuesta que garantizan la organización, la armonía y el funcionamiento eficiente del sistema social (Jaimes *et al.*, 2026). Los pilares del orden social incluyen las siguientes cualidades: a) consenso de valores y normas; b) instituciones fuertes; c) previsibilidad y confianza; y d) calidad de vida social en ascenso o en recuperación.

En términos políticos, Jaimes *et al.* (2026) desarrollaron un análisis del balance entropía-negentropía en Venezuela entre los años 1958–2025. En efecto, en Venezuela se han vivido dos épocas con contrastes socio-políticos, económicos, culturales y educativos, los cuales han caracterizado a dos modelos de desarrollo:

a) El democrático-social (1958–1998), durante el cual la sociedad venezolana exhibió una metaestabilidad social, económica, política, cultural, educativa, institucional y, en general, ecológico-ambiental a favor del orden negentrópico.

b) El socialista-autoritario (1999–2025), el cual se ha caracterizado por la implantación de un sistema político y económico diseñado para imponer el mal llamado “Socialismo del Siglo XXI”, que incluyó el control estatal de la economía, la expropiación abusiva de bienes y recursos productivos de propiedad privada, además de un creciente autoritarismo político, policial y militar; lo cual provocó la manifestación de procesos socio-políticos generadores de entropía social.

El enfoque económico de la entropía fue abordado por Koutsoyiannis y Fivos (2021), quienes comprobaron que la distribución del

ingreso está correlacionada positivamente con el principio de máxima entropía; es decir, “... que el aumento de la entropía se asocia al aumento de la riqueza social...”; no obstante, la debilidad de este resultado radica en la aplicación de un modelo univariado que solo relaciona la entropía con el incremento de los ingresos económicos que pueden percibir los trabajadores o la sociedad.

Por el contrario, la evaluación de la entropía y los sistemas económicos debe estar fundamentada en modelos que incluyan otras variables implícitas en la generación de la riqueza social y no solo los ingresos económicos o financieros.

Conclusiones

Está demostrado que la entropía propia (S^o_p) es un parámetro adimensional robusto para describir la forma como se organizan los componentes físicos (sólidos, líquidos, gaseosos y plásmicos) de cualquier sistema complejo, en términos de homogeneidad o heterogeneidad multivariada, desde la escala microscópica hasta la macroscópica.

El IHM es el parámetro adecuado para determinar el valor de la entropía propia (S^o_p) de los sistemas complejos. Debe resaltarse su dualidad paramétrica, ya que constituye un indicador útil para cuantificar simultáneamente la heterogeneidad (negentropía) y la homogeneidad (entropía), dentro y entre sistemas complejos.

Dada la bivalencia paramétrica del IHM, es posible determinar las variables que más aportan a la homogeneidad entrópica de un sistema complejo, así como identificar las características que más contribuyen a la heterogeneidad negentrópica de dichos sistemas.

El IHM es un parámetro de alta significancia teórica, cuyo diseño facilita la cuantificación de la cohesión interna y permite la estimación de la metaestabilidad de los sistemas complejos, basándose en la variabilidad de sus múltiples componentes. Su valor técnico y científico radica en que vincula la estadística multivariada clásica con los paradigmas actuales de la termodinámica, la complejidad y la teoría de la información.

Otra forma de valorar la entropía y la negentropía es a través de modelos matemáticos que permiten cuantificar la disfuncionalidad y la funcionalidad, respectivamente, de los sistemas complejos.

Se reconoce que las fuerzas principales que determinan la vinculación antagonica entre la entropía y la negentropía son la repulsión, impulsada

por la Fuerza Débil, y la atracción, producida por la Fuerza Fuerte.

Asimismo, se ha postulado que la atracción gravitacional surge debido a la negentropía, la cual sería lo suficientemente significativa como para reducir la entropía de la información en el universo.

REFERENCIAS

- Almeida MC (2008) *Para comprender la complejidad*. Multidiversidad Mundo Real Edgar Morin AC. Hermosillo, Sonora, México. 62 pp.
- Bertalanffy L (1968) *General System Theory*. Editorial George Braziller. Primera edición. Nueva York, EE.UU. 289 pp.
- Brillouin L (1953) The negentropic principle of information. *Journal of Applied Physics* 24: 1152–1163.
- Capra F (2006) *La trama de la vida. Una visión perspectiva de los sistemas vivos*. Editorial Anagrama. Sexta edición. España. 359 pp.
- Çengel YA, Boles MA (2012) *Termodinámica*. McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. 7ma Edición. México. 1041 pp.
- Daza M, Elizalde G (1988) *Programa IH para la determinación del índice de homogeneidad múltiple*. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 20 pp.
- Elizalde, G, Vilorio J, Rosales A (2007) Geografía de Suelos de Venezuela. En: *Geo Venezuela*, Tomo 2: Medio Físico y Recursos Ambientales. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela. pp. 402–537.
- Elizalde G, Jaimes E (1989) Propuesta de un modelo pedogeomorfológico. *Revista Geográfica de Venezuela* 30: 5–35.
- Elizalde G (1983) *Ensayo de clasificación sistémica de paisajes*. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. Mimeografiado. 43 pp. <https://www.researchgate.net/profile/Graciano-Elizalde/research>.
- Foth HD (1985) *Fundamentos de la ciencia del suelo*. Ceca. México, D.F., México. 433 pp.
- Garza WR (2020) *Entropía del cosmos*. Conferencia: La Entropía del universo. Monterrey, México. https://www.researchgate.net/publication/343786158_Entropia_del_Cosmos.
- Haddad WM (2017) Thermodynamics: The Unique Universal Science. *Entropy* 19: 621. <https://doi.org/10.3390/e19110621>.
- Jaimes E, Ramos Y, Pineda N, Jaimes EL (2026) *Entropía social o una sociedad negentrópica*. Mimeografiado en revisión. 20 pp.
- Jaimes EL, Torres L, Jaimes EJ, Pineda N (2026) *Sistema de Información Automatizado de Homogeneidad de Tierra - Versión 3.0 (SIAHT - V 3.0)*. Manual del usuario. Mimeografiado en revisión. Santiago de Chile. 64 pp.
- Jaimes Cárdenas EJ (2024) Complejidad y homogeneidad multivariada. Bases termodinámicas. *Boletín Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat* 65: 170–219.
- Jaimes E, Pineda N, Jaimes EL (2022) Automated Information System for Land Homogeneity

- (AISLH). *Environmental Science Ecology: Current Research* 3: 1055.
- Jaimes E, Pineda N, Mendoza JG, Garcés Y (2015) Análisis de la complejidad ambiental, a través de su homogeneidad multivariada. *Revista Academia* 14: 57–65.
- Jaimes E, Mendoza JG, Pineda N, Rodríguez H (2005) Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del río Motatán, Trujillo, Venezuela. *Interciencia* 30: 73–80.
- Jaimes E, Pineda N, Mendoza J (2006) Homogeneidad mesoclimática de algunas zonas de vida de Venezuela. *Interciencia* 31: 772–778.
- Jaimes E, Pineda N, Larreal M (2012) Homogeneidad morfológica de series de suelos, altiplanicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Argentina. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/homogeneidad-morfologica-series-suelos-t30967.htm>.
- Jaimes E, Elizalde G (1991a) Determinación de un índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos montañosos. *Revista Agricultura Andina* 6: 25–46. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/agri/v6/articulo02.pdf>.
- Jaimes E, Elizalde G (1991b) Procedimiento para calcular el índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos. *Revista Agricultura Andina* 6: 47–64. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/agri/v6/articulo03.pdf>.
- Jaimes E (1988) *Determinación de Índices de Homogeneidad Múltiples Globales en Sistemas Pedogeomorfológicos de la Cordillera de la Costa, Serranía del Litoral Central*. Tesis de Doctorado. Facultad de Agronomía. UCV. 226 pp. + Anexos. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2339.6725>. <https://www.researchgate.net/publication/303208697>.
- Koutsoyiannis D, Fivos G (2021) Entropy and Wealth. *Entropy* 23: 1356. <https://doi.org/10.3390/e231013>; <https://www.mdpi.com/journal/entropy>.
- Landauer MR (1961) Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process. *IBM Journal of Research and Development* 5: 183–191.
- Larreal M, Jaimes E, Pineda N (2012) Homogeneidad físico-química de series de suelos, altiplanicie de Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. *XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Mar del Plata, Argentina. <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/homogeneidad-fisico-quimica-series-t30966.htm>.
- Moriello SA (2013) Investigación: Sistemas Complejos. *Red Científica*. 9 pp. <https://fcvinta.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/08/sistemas-complejos.pdf>
- Morin E (2004) Epistemología de la complejidad. *Gazeta de Antropología* 20: 1–13. https://www.psi.uba.ar/academica/carrerasdegrado/psicologia/sitios_catedras/electivas/102_infanto_juvenil/material/complejidad_morin.pdf.
- Pineda N, Jaimes E, Mendoza J (2006). Aplicación del índice de homogeneidad múltiple a datos climatológicos de Venezuela. *Interciencia* 31: 817–821.
- Pineda N, Jaimes E, Mendoza J, Arellano R, Becerra L, Rodríguez H (2008) Homogeneidad pedogeomorfológica asociada con las formaciones geológicas y zonas de vida de la microcuenca del río monaquito, Trujillo, Venezuela. *Bioagro* 20: 49–56.
- Pineda N, Garcés Y, Jaimes E, Mendoza J, Rodríguez H (2012) Homogeneidad pedogeomorfológica en laderas de alta montaña, subcuenca Alto Motatán, estado Mérida, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía* 29: 228–247.
- Pla L (1986) *Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales*. Instituto Interamericano de Estadística. Secretaría General de la OEA. Washington D.C., EE.UU. 89 pp.
- Porta J, López AM, Poch RM (2014) *Edafología. Uso y Protección de Suelos*. Ediciones Mundi-Prensa. 3ra Edición. Madrid. España. 607 pp.
- Prigogine I (1999). *Las Leyes del Caos*. Biblioteca de Bolsillo. Primera edición. Barcelona, España. 155 pp.
- Prigogine I, Stenger I, Toffler A (1984) *Order out of Chaos*. Bantam. NY, EE.UU. 448 pp.
- Prigogine I (1997) *¿Tan solo una Ilusión? Una Exploración del Caos al Orden*. Tusquets Editores S.A. Barcelona, España. 325 pp.
- Rifkin J, (1990) *Entropía. Hacia el Mundo Invernadero*. Editorial Urano. Barcelona, España. 345 pp.
- Schrödinger E (1944) *¿Qué es la Vida?* Resumen comentado en Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/%C2%BFQu%C3%A9_es_la_vida%3F. (Cons. 06/06/2025).
- Shannon CE (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379–423.
- Shannon CE, Weaver W (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press Urbana, IL. EE.UU. 117 pp.
- Swami I, Dumas C (2020) Entropy and Negentropy. Principles in the I-Theory. *Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology* 6: 259–273.
- Thomas RW (1980) *Statistical Methods for Planners*. The MIT Press. Cambridge Mass. Londres. Inglaterra. 322 pp.
- USDA (2017) *Soil Survey Manual*. Soil Science Division Staff. US Department of Agriculture, Handbook No. 18. 639 pp.
- Van Campen A (2024) A General Law of Functionality: Van Campen's Law. *Institute Physic of Information Letter* 2: 35–60.
- Van Campen A (2025) Erratum a General Law of Functionality Van Campen's Law. *IPI Letters* 3: E1. <https://doi.org/10.59973/ipil.291>. https://www.researchgate.net/publication/397439860_Erratum_A_General_Law_of_Functionality_Van_Campen's_Law.
- Volobuyev VR, Ponomarev DG (1977) Some thermodynamic characteristics of the mineral associations of soils. *Soviet Soil Science* 15: 71–83.
- Vopson M (2025) Is gravity evidence of a computational universe? *AIP Advances* 15: 045035. <https://doi.org/10.1063/5.0264945>.
- Vopson M (2019) The mass-energy-information equivalence principle. *AIP Advances* 9: 095206. <https://doi.org/10.1063/1.5123794>.
- Vopson M (2021) Estimation of the information contained in the visible matter of the universe. *AIP Advances* 11: 105317. <https://doi.org/10.1063/5.0064475>.
- Vopson M, Lepadatu S (2022) Second-law-of-information-dynamics. *AIP Advances* 12: 075310. <https://doi.org/10.1063/5.0100358>.

ENTROPY AND NEGENTROPY: A THEORETICAL AND METHODOLOGICAL REVIEW

Edgar Jaimes, Yalitza Ramos, Neida Pineda and Enver Jaimes

SUMMARY

An updated review of the state of the art on entropy and negentropy was carried out with the aim of analyzing the theoretical and methodological contributions developed by various researchers. The analysis is framed within the context of complexity, understood in terms of its arguments, principles, and systemic perspective. As a starting point, the concept of total entropy of a system ($S^{\circ tot}$) is revisited, followed by a discussion of the main theoretical contributions associated with this concept, beginning with physical entropy ($S^{\circ phys}$), then intrinsic

entropy ($S^{\circ p}$), subsequently information entropy ($S^{\circ inf}$), and finally the articulation between entropy and negentropy according to different theoretical approaches. Based on the discussion developed, a series of conclusions are presented in which basic premises are formulated regarding both thermodynamic principles and their close relationship with the multivariate homogeneity of complex systems, with the purpose of fostering scientific exchange and deepening the theoretical and methodological contributions proposed in this work.

ENTROPIA E NEGENTROPIA: UMA REVISÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Edgar Jaimes, Yalitza Ramos, Neida Pineda e Enver Jaimes

RESUMO

Foi realizada uma atualização do estado da arte sobre a entropia e a negentropia, com o objetivo de analisar os aportes teóricos e metodológicos desenvolvidos por diversos pesquisadores. A análise se insere no contexto da complexidade, compreendida em termos de seus argumentos, princípios e visão sistêmica. Como ponto de partida, retoma-se o conceito de entropia total de um sistema ($S^{\circ tot}$), seguido da discussão dos principais aportes teóricos associados a esse conceito, iniciando pela entropia física ($S^{\circ phys}$), depois pela entropia própria

($S^{\circ p}$), posteriormente pela entropia da informação ($S^{\circ inf}$) e, por fim, pela articulação entre entropia e negentropia, segundo diferentes abordagens teóricas. Com base na discussão desenvolvida, são apresentadas uma série de conclusões nas quais se formulam premissas básicas sobre ambos os princípios termodinâmicos e sua estreita relação com a homogeneidade multivariada dos sistemas complexos, com o propósito de promover o intercâmbio científico e o aprofundamento dos aportes teóricos e metodológicos propostos neste trabalho.

Licencia de uso



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).