



INCEPTUM

Revista de Investigación en Ciencias de la Administración
Vol. XXI No. 40 Enero – Junio 2026

Evaluación del progreso social global mediante la entropía de Shannon y la lógica difusa

Assessing Global Social Progress Through Shannon Entropy and Fuzzy Logic

DOI: 10.33110/inceptum.v21i40.522

(Recibido: 13/03/2026; Aceptado: 22/05/2026)

Tsitsi A. Hernández-Duarte^{1*}

Víctor G. Alfaro-García^{2*}

Norma Laura Godínez-Reyes³

Dora Aguila-socho-Montoya⁴

Resumen.

Este estudio propone un enfoque metodológico que combina lógica difusa y entropía de Shannon para analizar la estructura del Índice de Progreso Social (IPS). El objetivo del documento es cuantificar la entropía entre las diferentes dimensiones que conforman el índice de progreso social en distintas naciones. Para ello, se analizaron datos de 146 países durante el período 2014–2018, aplicando un algoritmo humanista para construir subconjuntos borrosos a partir de la normalización de los indicadores del IPS y la asignación de funciones de pertenencia en el intervalo $[0,1]$, y estimar posteriormente su nivel de entropía, a través de la función de Shannon. Los resultados revelan patrones regionales diferenciados: los países europeos, especialmente los nórdicos, presentan bajos niveles de entropía, lo que se interpreta como una mayor coherencia estructural entre las dimensiones de necesidades humanas básicas, fundamentos del bienestar y oportunidades; en contraste, varios países

¹ Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. <https://orcid.org/0009-0002-2219-7636>. 0450461b@umich.mx.

² Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. <https://orcid.org/0000-0002-0412-2166>. victor.alfaro@umich.mx.

³ Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. <https://orcid.org/0000-0002-9341-5488>. lgodinez@umich.mx.

⁴ Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. <https://orcid.org/0000-0002-3630-0238>. amontoya@umich.mx

* Autor de Correspondencia: Tsitsi A. Hernández-Duarte. 0450461b@umich.mx; Víctor G. Alfaro-García. victor.alfaro@umich.mx.



del África subsahariana muestran altos niveles de entropía, reflejando mayor dispersión y fragmentación entre dichas dimensiones. Este enfoque aporta una herramienta útil para el análisis comparativo del desarrollo social, ya que permite modelar la incertidumbre, la ambigüedad y la variabilidad presentes en los indicadores que integran el IPS.

Palabras Clave: Entropía de Shannon, Índice de Progreso Social, lógica difusa.

Abstract.

This study proposes a methodological approach that combines fuzzy logic and Shannon entropy to analyze the structure of the Social Progress Index (SPI). The objective of this paper is to quantify the entropy among the different dimensions that constitute the Social Progress Index across nations. To achieve this, data from 146 countries for the period 2014–2018 were analyzed, applying the humanistic algorithm to construct fuzzy subsets and estimate their entropy levels. The results reveal differentiated regional patterns: European countries, particularly the Nordic ones, exhibit low entropy levels, indicating greater structural coherence in social progress; in contrast, several Sub-Saharan African countries show high entropy levels, reflecting greater dispersion and structural fragility. This approach provides a useful tool for comparative analysis of social development, as it allows for modeling uncertainty, ambiguity, and imprecise data.

Keywords: Fuzzy Logic, Shannon Entropy, Social Progress Index

Código JEL: C44, C63, O15.

1. Introducción.

El concepto de sostenibilidad surge como una respuesta a los efectos adversos que el crecimiento económico ha generado sobre los sistemas sociales y el medio ambiente (Purvis et al., 2019). En este contexto, el desarrollo sostenible adquiere una relevancia central al proponer un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección ambiental y la equidad social, asegurando que las necesidades actuales se satisfagan sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para cubrir las propias (Kirkby et al., 2023). En consecuencia, los países deben orientar sus políticas públicas hacia este enfoque, con el propósito de mitigar el cambio climático, reducir la pobreza, promover la salud y el bienestar, así como fortalecer una sociedad global más resiliente e inclusiva (Asghar et al., 2024).

Desde una perspectiva operativa, el desarrollo sostenible puede evaluarse mediante el Índice de Progreso Social (IPS) (Peiró-Palomino et al., 2024), el cual constituye una herramienta clave para medir el bienestar y la calidad de vida de las personas y comunidades. Este índice favorece el acceso equitativo a recursos, educación, servicios de salud y oportunidades, al tiempo que fortalece la cohesión social, contribuye a la reducción de la pobreza y la desigualdad, y promueve la participación activa de los individuos en la sociedad. En este sentido, al atender los principales desafíos sociales y mejorar las condiciones de vida, el desarrollo social se consolida como un elemento esencial para impulsar un crecimiento económico sostenible, así como la estabilidad y el progreso integral de las sociedades (Vaskovskyi, 2020).

El presente estudio emplea un enfoque metodológico basado en la integración de la lógica difusa y la entropía de Shannon, utilizando un algoritmo humanista que permite modelar la incertidumbre y la imprecisión inherentes a los indicadores del Índice de Progreso Social. Bajo este enfoque, la presente investigación plantea la siguiente hipótesis: existe una relación inversa entre el nivel de entropía de Shannon y la coherencia estructural del progreso social de los países, de tal manera que menores niveles de entropía se asocian con una mayor integración y equilibrio entre las dimensiones del Índice de Progreso Social. El objetivo de este documento es cuantificar la entropía entre las diferentes dimensiones que conforman el Índice de Progreso Social en distintas naciones. Este enfoque resulta adecuado debido a su capacidad para transformar datos heterogéneos en subconjuntos borrosos y cuantificar su grado de desorden mediante una métrica robusta y ampliamente validada. Los resultados obtenidos evidencian la existencia de patrones diferenciados a nivel regional, donde los países europeos, particularmente los nórdicos, presentan niveles bajos de entropía, reflejando una mayor coherencia estructural en sus dimensiones de progreso social, mientras que diversas naciones del África subsahariana muestran niveles elevados de entropía, asociados a una mayor dispersión y fragmentación estructural.

Tras estas consideraciones iniciales, el artículo se organiza de la siguiente manera: la primera sección presenta los antecedentes del estudio; la segunda sección desarrolla la revisión de la literatura y el marco teórico; la tercera sección describe los datos, el modelo teórico y el enfoque metodológico empleado; la cuarta sección expone los resultados empíricos y su interpretación; y, finalmente, la última sección presenta las conclusiones y las implicaciones del estudio.

2. Antecedentes.

En las últimas décadas, el desarrollo sostenible se ha convertido en una prioridad mundial, ya que la comunidad global ha alcanzado un acuerdo inclusivo para su mejora (Ahmadi et al., 2021, Barron et al., 2023, Hajian & Jangchi Kashani, 2021, Khodaparast Shirazi et al., 2020, Salvia et al., 2019). Este consenso redefine el crecimiento de los países, no solo como un avance económico, sino como un desarrollo integral que aborda las dimensiones sociales, económicas y ambientales (Llorente-González et al., 2025), y que requiere mejoras en el bienestar social y reducciones de los daños ambientales; en este marco, estos dos objetivos deben lograrse de forma simultánea para lograr un desarrollo verdaderamente sostenible a nivel global (Kamran et al., 2023, Kerimkhulle et al., 2023, Mohamad Taghvaei et al., 2023, Sadiq et al., 2023 ; Htitich et al., 2024).

Un referente clave en este ámbito es el Índice de Progreso Social (IPS), un instrumento que analiza de manera estructurada el desempeño integral de las naciones considerando variables socioambientales (Alonso-Martínez, 2018; Zeqiraj et al., 2022; Beltrán-Esteve et al., 2023; De Sisto et al., 2024). Mediante una metodología que integra dimensiones, componentes y métricas específicas, este índice representa una propuesta novedosa para cuantificar avances colectivos y su correlación con la sostenibilidad (Qazi, 2025). Su enfoque pone en relieve aspectos marginados por los parámetros económicos tradicionales, como disponibilidad de servicios educativos, cobertura sanitaria y preservación ecológica, posicionándolo como instrumento fundamental para diseñar estrategias de desarrollo sostenible (SPI, 2025).



3. Revisión de la literatura.

La utilización de la lógica difusa en la gestión de recursos humanos presenta múltiples ventajas (Chen & Pan, 2021). Los sistemas basados en lógica difusa proporcionan un enfoque innovador para evaluar el desempeño al considerar incertidumbres y datos imprecisos, lo que facilita la toma de decisiones (Cebi et al., 2024). Además, estos enfoques ofrecen una opción adicional para la selección de personal en puestos estructurales, aumentando la efectividad y la eficiencia de los sistemas de apoyo a la decisión y alineándose con la forma en que los humanos razonan y formulan juicios en situaciones reales (Ardin, 2017; Ramadhani y Susanto, 2022).

Recientemente, se ha propuesto la lógica difusa como una herramienta sistemática para la evaluación de la sostenibilidad (Xue & Lin, 2025). La lógica difusa permite representar datos inciertos y transformar juicios cualitativos en modelos cuantificables, facilitando el análisis de situaciones vagas donde la matemática tradicional resulta insuficiente (Tran & Sarkar, 2025). En aplicaciones de desarrollo y sostenibilidad, la lógica difusa ha mostrado eficacia para construir índices compuestos, realizar clasificación multicriterio y gestionar la incertidumbre asociada a decisiones de política pública (Firli et al., 2025; Hendiani & Bagherpour, 2019; Andriantiatsaholiniaina et al., 2004). Este enfoque facilita la toma de decisiones en contextos complejos donde la sustitución de criterios y la valoración subjetiva deben ser integradas de forma robusta y replicable (Phillis & Andriantiatsaholiniaina, 2001).

La entropía es un concepto fascinante, cuyas implicaciones y aplicaciones no se limitan al ámbito técnico y científico (Singh et al., 2025). La entropía se empleaba exclusivamente para analizar las condiciones bajo las cuales el calor se transformaba en trabajo y no constituía un concepto probabilístico (Odetola et al., 2024). A finales del siglo XIX, Ludwig Boltzmann formalizó dicho concepto y le atribuyó una interpretación probabilística; en consecuencia, a partir de ese momento la entropía pasó a entenderse como una noción de incertidumbre o desorden (Ormos y Zibriczky, 2014). Se ha utilizado en las diferentes aplicaciones en el área del conocimiento por ejemplo en el trabajo de Meller (1973) donde se midió a la entropía como indicador del grado de concentración industrial en Chile; por su parte en la investigación de Velasco et al. (2008) la entropía fue utilizada como indicador de desigualdades regionales. Por otro lado, el método de ponderación por entropía se emplea de forma amplia para analizar los pesos de los indicadores en la evaluación de la economía marina (Liu et al., 2019; Shengde y Zhonghua, 2022; Yu et al., 2023). Sus ventajas incluyen una operación simple, una objetividad elevada, una fiabilidad considerable y la capacidad de reducir la influencia de la subjetividad al fijar los pesos de los factores, lo que hace que los resultados de la evaluación estén más alineados con la realidad (Yixiong et al., 2025).

Específicamente en el ámbito de las ciencias sociales, destaca el trabajo de Gil Aluja, quien propone un algoritmo humanista para la evaluación de la incertidumbre en sistemas complejos, aplicado originalmente al análisis de la capacidad de los países para atraer inversiones futuras. Este algoritmo enfatiza la importancia de la incertidumbre y su relación con los conceptos de orden y desorden en los procesos de toma de decisiones (Herencia, 2012). En este contexto, el algoritmo de evaluación de subconjuntos borrosos de Gil-Aluja (2021) permite medir el grado de orden y desorden mediante la construcción de subconjuntos borrosos a partir de variables relevantes; en la presente investigación, dichas variables corresponden a las dimensiones del Índice de Progreso Social (necesidades humanas básicas, fundamentos del bienestar y oportunidades). El grado de incertidumbre se determina a través

del cálculo de una medida de distancia entre cada subconjunto borroso y su correspondiente subconjunto booleano más próximo, lo que permite cuantificar la desviación entre el estado observado y una condición de referencia estructuralmente ordenada (Stojic, 2012).

La distancia empleada en esta investigación se basa en la entropía de Shannon, una medida de incertidumbre y dispersión ampliamente utilizada en teoría de la información y estadística (Sepúlveda-Fontaine & Amigó, 2024). En el contexto de conjuntos borrosos, la entropía de Shannon permite cuantificar cuánta información falta o cuánta variabilidad existe entre el estado observado de un subconjunto y su estado de referencia, lo que resulta especialmente relevante para evaluar la variabilidad de los indicadores normalizados que integran las dimensiones del Índice de Progreso Social, específicamente necesidades humanas básicas, fundamentos del bienestar y oportunidades (Shannon, 1948; Lin, 1991).

Esta métrica se integra de forma natural con la lógica difusa, ya que los valores de pertenencia se encuentran en el intervalo $[0,1]$, permitiendo definir un índice de borrosidad coherente con la estructura de los subconjuntos borrosos utilizados para representar dichos indicadores (Klir & Valerie, 1995). Además, la divergencia de Shannon es una medida bien establecida para comparar distribuciones de probabilidad y ofrece una interpretación directa en términos de incertidumbre, lo que facilita la comparabilidad internacional y la reproducibilidad frente a otros estudios que emplean métricas de entropía (Cover & Thomas, 2006).

Aunque existen otras métricas de distancia y divergencia, la distancia de Shannon resulta particularmente adecuada cuando el objetivo es cuantificar la variabilidad y el desorden en sistemas discretos o discretizados de indicadores sociales, y ha mostrado una adecuada robustez ante variaciones en el tamaño de muestra cuando las estimaciones probabilísticas son consistentes (Shannon, 1948; Jaynes, 1957).

En el trabajo de Christos et al. (2025), el Índice de Entropía de Shannon cuantifica el grado en que una industria se desvía de una estructura de mercado competitiva. El Índice de Entropía evalúa la distribución entre todos los participantes y ofrece una caracterización más matizada de la estructura de mercado. Además, este índice aborda posibles deficiencias asociadas a la sustracción de residuos al cuadrar las participaciones de mercado, ya que el proceso de elevar al cuadrado las cuotas de mercado puede amplificar desproporcionadamente las diferencias entre tamaños de los actores del mercado (Ukav, 2017).

Sin embargo, a pesar de sus aportaciones, el Índice de Progreso Social presenta limitaciones en su forma de agregación. La metodología oficial del índice agrega sus dimensiones mediante promedios aritméticos, lo que implica un supuesto de compensabilidad perfecta entre ellas. Bajo este esquema, es posible que países con valores globales similares presenten configuraciones internas significativamente distintas en sus dimensiones subyacentes (Social Progress Imperative, 2026). En este contexto, la entropía de Shannon, aplicada a los subconjuntos borrosos derivados del índice, permite capturar el grado de coherencia estructural entre dichas dimensiones, revelando patrones que no son evidentes a través de medidas agregadas convencionales (De Sisto et al., 2024). Su utilización se sustenta en propiedades teóricas ampliamente reconocidas en la literatura, tales como la no negatividad, simetría, aditividad y monotonidad (Shannon, 1948; (Cover & Thomas, 2006); Xu et al., 2013), así como en su compatibilidad con representaciones en el intervalo $[0,1]$ propias de la lógica difusa (Zadeh, 1965; Ni & Fang, 2016). Asimismo, su aplicación en contextos de incertidumbre ha sido ampliamente validada en estudios recientes sobre sistemas complejos y análisis multidimensional (Mia et al., 2023; Wang et al., 2024).



4. Materiales y Métodos.

El algoritmo propuesto por Gil Aluja (2021) se fundamenta en la teoría de conjuntos borrosos para evaluar el grado de incertidumbre asociado a la capacidad de atracción de inversiones de un país, incorporando tanto información objetiva como subjetiva proporcionada por un comité de expertos. El procedimiento consiste en definir un conjunto de criterios relevantes (económicos, sociales, políticos, entre otros), a los cuales se les asignan valores en el intervalo $[0,1]$ para construir subconjuntos borrosos que representan el nivel de incertidumbre de cada país. Posteriormente, dichos subconjuntos se comparan con su correspondiente subconjunto booleano más próximo, que representa una situación de referencia ordenada, y se calcula la distancia entre ambos mediante operadores como la distancia de Hamming, la euclidiana o la entropía de Shannon. Esta distancia permite cuantificar el grado de desorden o incertidumbre, posibilitando así la ordenación de los países en función de su mayor o menor capacidad de atracción de inversiones.

La metodología utilizada en este trabajo se desarrolló a partir de los pasos propuestos en el algoritmo para la ordenación de países según su capacidad de atracción de inversiones de Gil Aluja en 2021, que forma parte de los algoritmos humanistas. Estos algoritmos se distinguen por integrar simultáneamente datos subjetivos, transformados en valores numéricos mediante procesos de valoración, junto con información objetiva de naturaleza cuantitativa y mensurable (Gil-Aluja, 2021). A continuación, se describirá cada una de las etapas que compone este algoritmo y cómo fueron aplicadas.

Si bien el algoritmo humanista propuesto por Gil Aluja (2021) contempla la participación de un comité de expertos para la asignación de valoraciones subjetivas, en la presente investigación no se recurre a dicho mecanismo, dado que se emplean directamente datos cuantitativos estandarizados provenientes del Índice de Progreso Social. Esta decisión se justifica en la naturaleza objetiva y comparativa de la información utilizada, la cual ya ha sido previamente validada y estructurada bajo criterios metodológicos consistentes, lo que permite garantizar la homogeneidad y reproducibilidad del análisis sin introducir sesgos adicionales derivados de juicios subjetivos. Así pue, los datos fueron recopilados a partir de informes internacionales y bases de datos disponibles en el sitio público de “The Social Progress Imperative”, <https://www.socialprogress.org/>.

En la segunda etapa, se establecen de manera pormenorizada los criterios que definen el concepto de país en términos de progreso social. Para ello, se utilizaron los indicadores que integran las tres dimensiones del Índice de Progreso Social: necesidades humanas básicas, fundamentos del bienestar y oportunidades, considerando los datos correspondientes a los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. El período de estudio 2014–2018 se justifica por la disponibilidad, consistencia y comparabilidad internacional de los datos del Índice de Progreso Social, el cual comenzó a consolidarse a partir de su publicación global en 2014. Asimismo, los datos utilizados son de acceso público y gratuito, lo que favorece la transparencia, la reproducibilidad del análisis y la posibilidad de replicar el estudio en distintos contextos.

En particular, se incorporaron las variables de nutrición y atención médica básica, agua y saneamiento, vivienda y seguridad personal para la dimensión de necesidades humanas básicas; acceso al conocimiento básico, acceso a información y comunicaciones, salud y bienestar, así como calidad ambiental para la dimensión de fundamentos del bienestar; y derechos personales, libertad personal y de elección, inclusión y acceso a educación superior

para la dimensión de oportunidades. Estos indicadores fueron previamente normalizados en el intervalo $[0,1]$ para su posterior tratamiento mediante lógica difusa.

Para la tercera etapa, se realizó una selección sistemática de países basada en la disponibilidad y consistencia de la información reportada por el Índice de Progreso Social. Específicamente, se incluyeron aquellos países que contaban con datos completos en el período 2014–2018 para las tres dimensiones del índice: necesidades humanas básicas, fundamentos del bienestar y oportunidades, así como para sus respectivos componentes: nutrición y atención médica básica, agua y saneamiento, vivienda, seguridad personal, acceso al conocimiento básico, acceso a información y comunicaciones, salud y bienestar, calidad ambiental, derechos personales, libertad personal y de elección, inclusión y acceso a educación superior. Bajo este criterio, se seleccionaron un total de 146 países, garantizando la comparabilidad y la integridad de los datos utilizados en el análisis.

En la cuarta etapa, el Comité de Expertos asigna un valor escalar en el intervalo $[0,1]$ que representa el grado o nivel de incertidumbre para cada uno de los criterios considerados. Esta asignación se realiza mediante un proceso de normalización y la aplicación de funciones de pertenencia propias de la lógica difusa, las cuales permiten transformar juicios cualitativos en valores cuantificables dentro de una escala continua. De este modo, se parametriza el coeficiente de incertidumbre asociado a factores no directamente observables o difícilmente medibles, garantizando coherencia y comparabilidad en la evaluación de las variables analizadas. El procedimiento de normalización se lleva a cabo siguiendo la propuesta de Andriantiatsaholiniaina et al. (2004). Para cada indicador se define una función de pertenencia en el intervalo $[0,1]$, a partir de tres parámetros fundamentales: un valor mínimo c , un valor máximo T y un valor de referencia t . El parámetro c representa el nivel de mínima pertenencia, asociado a las condiciones menos favorables del indicador, mientras que T corresponde al nivel de máxima pertenencia, vinculado a su desempeño óptimo. Por su parte, el valor t define el punto de referencia o nivel deseable dentro del intervalo, el cual puede establecerse como un valor específico o un rango según la naturaleza del indicador. Adicionalmente, se considera el complemento $=1 - c$, que permite representar el grado de no pertenencia dentro del sistema difuso. Estos parámetros se estiman a partir de la información empírica disponible para cada indicador, permitiendo construir funciones de pertenencia consistentes para su posterior análisis.

Tras la recopilación sistematizada de los inputs necesarios, en la quinta etapa se implementa algorítmicamente la construcción de los subconjuntos borrosos, que definen las incertidumbres inversoras buscada. Posteriormente, para cada subconjunto borroso, que definen la incertidumbre inversora en los países, se determinan el subconjunto booleano más cercano correspondiente, por último, se obtienen, según el caso, los grados de desorden o índices de incertidumbre inversora a través de una de las distancias métricas como la distancia de Hamming, la euclidiana o la entropía de Shannon.

Para esta investigación se decidió trabajar con la función de Shannon, dicha función de distancia propone el índice de borrosidad de la siguiente manera:

$$V(\sim) = \frac{-1}{n \cdot \ln 2} \cdot \sum_{i=1}^n (\mu_{\sim}(x_i) \cdot \ln \mu_{\sim}(x_i) + \mu_{\sim}^c(x_i) \cdot \ln \mu_{\sim}^c(x_i))$$



Donde:

- $v(\tilde{A})$ = representa el nivel de entropía asociado al subconjunto borroso A
 n = corresponde al número total de indicadores considerados en el análisis
 $\mu_{\tilde{A}}(x_i)$ =denota el grado de pertenencia del indicador i ésimo al subconjunto borroso
 $\mu_{\tilde{A}^c}$ =representa el grado de no pertenencia o complemento

Este índice mide el grado de incertidumbre o desorden en la configuración del Índice de Progreso Social, de modo que una entropía mayor indique una mayor dispersión e inconsistencias. En suma, la elección de la distancia de Shannon facilita una interpretación directa en términos de incertidumbre, es compatible con la metodología de lógica difusa empleada y está respaldada por un amplio marco teórico y de aplicación en estudios multicriterio e internacionales.

El cálculo de la entropía de Shannon se realizó mediante la plataforma digital Humanistic Economy, orientada al análisis de sistemas complejos bajo enfoques de lógica difusa y teoría de la incertidumbre. A través de esta herramienta, se procesaron los valores de pertenencia de los indicadores del Índice de Progreso Social, aplicando de forma automatizada la formulación de Shannon para estimar el grado de desorden y generó un ranking país por país. Su uso permitió garantizar consistencia en los resultados y facilitar la reproducibilidad del análisis. Las valuaciones se realizan de manera anual para cada país durante el período 2014–2018. Para cada año, se consideran los indicadores que integran el Índice de Progreso Social, los cuales son previamente normalizados en el intervalo $[0,1]$ y transformados en subconjuntos borrosos mediante funciones de pertenencia. A partir de estos valores, se calcula la entropía de Shannon con el fin de estimar el grado de incertidumbre o desorden en la estructura de las dimensiones del índice. Posteriormente, los valores obtenidos para cada año se agregan mediante un promedio aritmético, lo que permite obtener una medida representativa del comportamiento de cada país a lo largo del período de estudio.

5. Análisis y discusión de resultados.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del modelo basado en lógica difusa y entropía de Shannon sobre los indicadores del Índice de Progreso Social para el período 2014–2018. El análisis permite identificar patrones de comportamiento en los niveles de incertidumbre o desorden entre países y regiones, así como evaluar la coherencia estructural de las dimensiones que conforman el índice. A partir de las estimaciones realizadas, se exponen tanto los resultados globales como las comparaciones regionales, con el propósito de ofrecer una interpretación integral de las diferencias en el progreso social a nivel internacional.

Los resultados presentados en la Figura 1 permiten visualizar la distribución porcentual de los niveles de entropía del Índice de Progreso Social por región, evidenciando una mayor concentración de valores en África (30 %) y Europa (25 %), seguidas de Asia (23 %) y América (16 %), mientras que Oceanía y la región Europa/Asia presentan una participación menor. Esta distribución sugiere que el comportamiento del “desorden” en los indicadores sociales no es homogéneo entre regiones, destacando una mayor presencia de países con niveles elevados de entropía en África, en contraste con Europa, donde se observa una proporción significativa asociada a estructuras más equilibradas. En conjunto, la

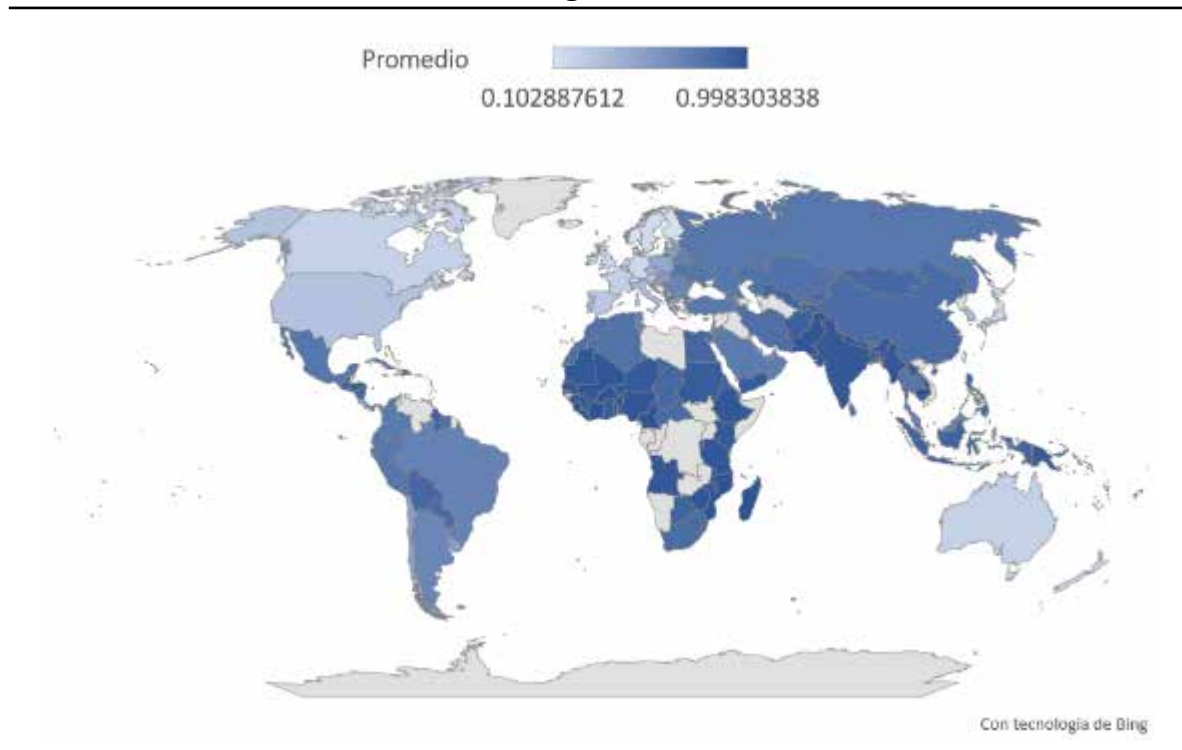
figura complementa el análisis previo al ofrecer una visión comparativa del comportamiento regional de la entropía, reforzando la existencia de diferencias estructurales en el progreso social a nivel global.

Una entropía cercana a 0 indica una distribución altamente ordenada o predecible de los elementos del progreso social, mientras que un valor cercano a 1 sugiere una mayor complejidad, variabilidad o desequilibrio en las dimensiones de “Necesidades Humanas Básicas”, “Fundamentos del Bienestar” y “Oportunidades”, variables analizadas del IPS. En muchos contextos (como la diversidad de especies, la distribución de ingresos, etc.), una entropía baja sugiere una menor diversidad o una mayor concentración/desigualdad, por el contrario, una entropía alta (cercana a 1) indica una mayor diversidad, aleatoriedad o una distribución más equitativa (Germano, 2022).

Por otro lado, si la entropía mide, por ejemplo, la diversidad de fuentes de energía, la concentración del mercado laboral o la desigualdad de ingresos, estos países mostrarían una alta especialización o una estructura muy concentrada en el fenómeno que se esté midiendo (Miguel-Velasco et al., 2008). En contraste, países con valores de entropía elevados, en su mayoría africanos, presentan valores cercanos a 1, indicando un alto nivel de desorden en sus dimensiones de progreso social según el IPS.

En la Figura 1 podemos ver de manera general el promedio de la entropía en los diferentes países estudiados, los cuales aparecen en escalas azules.

Figura 1.



Fuente: Elaboración propia.

Los promedios de las entropías correspondientes a los diez países con mayores y menores niveles de desorden por continente se presentan en la Tabla 1. Para su obtención, primero se calcularon los valores de entropía de Shannon para cada país y para cada año del

período 2014–2018, a partir de los indicadores que integran el Índice de Progreso Social. Posteriormente, se identificaron los diez países con valores más altos y más bajos de entropía en cada continente, y finalmente se estimó el promedio aritmético de dichos valores a lo largo del período de estudio. Los hallazgos muestran un patrón geográfico que se distingue claramente. En términos generales, los países que tienen niveles de entropía más bajos, lo cual significa que hay una coherencia estructural superior entre las dimensiones del progreso social, se encuentran sobre todo en Europa. En particular, se hallan en los países nórdicos como Dinamarca, Noruega e Islandia. Estos países muestran un nivel de integración y equilibrio más elevado entre las distintas dimensiones del Índice de Progreso Social. Por el contrario, se detectan en su mayoría los niveles más elevados de entropía en naciones del África subsahariana, lo que indica que la manera en que se desarrollan las dimensiones de necesidades humanas fundamentales, fundamentos del bienestar y oportunidades es más dispersa y fragmentada. Por su parte, Asia y América presentan valores intermedios con una mayor heterogeneidad entre países, evidenciando estructuras de progreso social más diversas y menos homogéneas que las observadas en Europa.

Tabla 1. Comparación de los niveles de entropía del Índice de Progreso Social: mejores y peores países por continente

Continente	País	Promedio	Continente	País	Promedio
África	Mauricio	0.656470269	América	Canadá	0.20796873
	Túnez	0.723060413		Estados Unidos	0.301854548
	Argelia	0.812854481		Costa Rica	0.501545944
	Marruecos	0.820340767		Chile	0.517180916
	Cabo Verde	0.8414126		Uruguay	0.544536264
	Sudáfrica	0.84998017		Barbados	0.643249589
	República Centroafricana	0.854397682		Argentina	0.680962364
	Chad	0.874821106		Brasil	0.711743737
	Egipto	0.881670524		Panamá	0.735619016
	Botsuana	0.902825493		Cuba	0.752466289
	Liberia	0.99338942		Ecuador	0.78782551
	Nigeria	0.993403073		Surinam	0.831788996
	Camerún	0.993581585		República Dominicana	0.844842596
	Mozambique	0.996267132		El Salvador	0.848890079
	Madagascar	0.996547085		Paraguay	0.857968636
	Burkina Faso	0.997534807		Nicaragua	0.875183655
	Sierra Leona	0.99785083		Bolivia	0.877311265
	Togo	0.998131883		Guyana	0.907354933
	Malawi	0.998811875		Guatemala	0.911206038
Costa de Marfil	0.999270385	Honduras	0.93934588		
Asia	Japón	0.166729364	Europa	Dinamarca	0.102985097
	Singapur	0.329315946		Islandia	0.109564024
	Corea del Sur	0.333113217		Noruega	0.110591319
	Israel	0.442493173		Suiza	0.118580044
	Emiratos Árabes Unidos	0.668242608		Finlandia	0.12170392

	Catar	0.690160129		Países Bajos	0.139438176
	Malasia	0.705077089		Suecia	0.147214239
	Armenia	0.72859067		Alemania	0.161767446
	Omán	0.744946451		Reino Unido	0.188837046
	Jordania	0.746745962		Irlanda	0.189224241
	Afganistán	0.92272084		Letonia	0.570834573
	Yemen	0.955693563		Bulgaria	0.662089997
Asia	Laos	0.96933099	Europa	Rumania	0.68483503
	India	0.970060429		Montenegro	0.703127812
	Nepal	0.971229381		Serbia	0.710618527
	Bangladés	0.972886855		Albania	0.714466973
	Timor Oriental	0.97665321		Bielorrusia	0.714890168
	Myanmar	0.983861295		Macedonia del Norte	0.772599605
	Pakistán	0.98841651		Ucrania	0.796124883
	Camboya	0.991348051		Moldavia	0.808418111
	Australia	0.207219255		Georgia	0.759052295
	Fiyi	0.825754149		Rusia	0.782098712
Oceanía	Nueva Zelanda	0.201346284	Asia/Europa	Turquía	0.771862804
	Papúa Nueva Guinea	0.961925252			
	Islas Salomón	0.994474276			

Fuente: Elaboración propia.

Específicamente, Mozambique, Madagascar, Burkina Faso, Sierra Leona, Togo, Malawi y Costa de Marfil exhiben valores de entropía consistentemente altos, cercanos al máximo de 1. Esto indica que la manifestación del progreso social en estas naciones durante el período 2014-2018 fue caracterizada por un elevado desorden o complejidad en las dimensiones consideradas. Un valor de entropía tan cercano a 1 sugiere la ausencia de patrones discernibles en la relación y avance de las distintas dimensiones, reflejando una falta de integración fundamental entre ellas. En términos prácticos, esto puede traducirse en brechas significativas e inconsistentes entre el rendimiento en “Necesidades Humanas Básicas”, “Fundamentos del Bienestar” y “Oportunidades”. Por ejemplo, podrían existir intervenciones humanitarias que aborden algunas necesidades básicas sin un impacto sostenido en el bienestar a largo plazo o en la generación de oportunidades.

La elevada entropía también indica que los resultados del progreso social en estos países son altamente impredecibles de un año a otro o entre diferentes áreas, reflejando sistemas extremadamente frágiles. Este fenómeno puede estar asociado a condiciones económicas, climáticas, sanitarias y políticas inestables. La prevalencia de naciones del África subsahariana con altos valores de entropía refuerza la idea de que muchas de estas regiones enfrentan desafíos estructurales crónicos, como la pobreza extrema, infraestructura limitada e inestabilidad institucional, que en conjunto contribuyen a una alta complejidad y desorden en su camino hacia el progreso social.

En la región de América, la mayoría de los países muestran valores de entropía que oscilan en rangos similares a lo largo de 2014-2018, lo que sugiere una estabilidad relativa en la dispersión de los datos en este período. Algunos países experimentaron cambios notables en la entropía en ciertos años, pero en general no se observaron variaciones drásticas. La



mayoría presenta valores de entropía en rangos medios, indicando dispersión moderada y ausencia de extremos significativos.

Por ejemplo, Canadá exhibe valores de entropía muy bajos, alrededor de 0.20, señalando una distribución concentrada y con poca variabilidad en sus datos. En contraste, Honduras mantiene valores elevados cercanos a 0.94 en todos los años, reflejando una dispersión elevada y diversidad en los datos. La diferencia sustancial en estos valores refleja diferentes características en las estructuras y niveles de heterogeneidad de los datos de ambos países.

En Asia, se observa una considerable heterogeneidad en los valores de entropía, que varían desde aproximadamente 0.16 en Japón hasta cerca de 0.98 en Timor-Leste y Yemen. Esto indica que algunos países presentan baja dispersión y menor incertidumbre, mientras que otros muestran dispersión casi máxima, evidenciando una gran heterogeneidad en la región. La diversidad en los niveles de dispersión en Asia refleja diferencias estructurales y socioeconómicas sustanciales, con algunos países mostrando datos muy concentrados y otros con dispersión casi máxima.

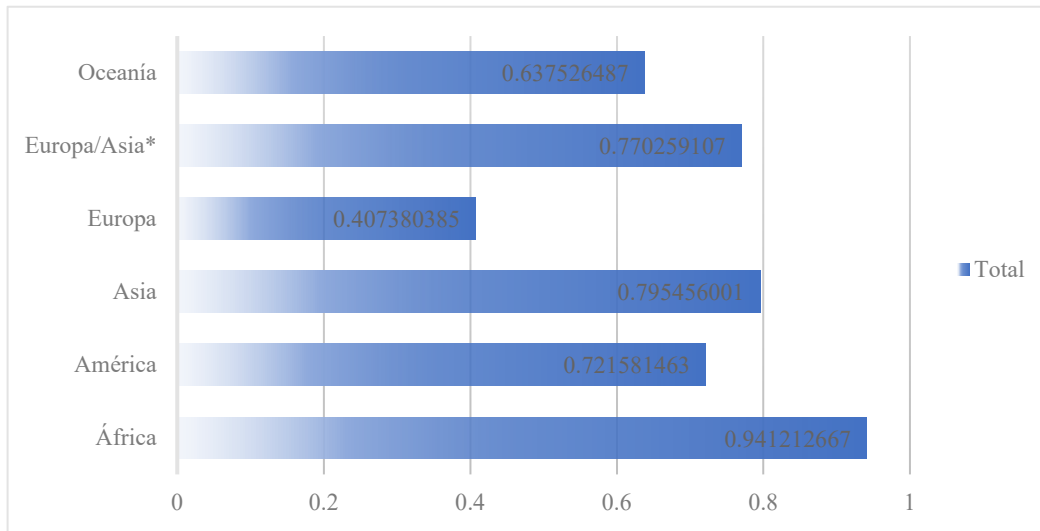
Asimismo, en Asia, los valores de entropía oscilan desde muy bajos, como 0.014 en Irlanda, hasta muy altos, como 0.99 en Moldavia y Macedonia. La mayoría de los países presentan valores entre 0.1 y 0.8.

Por su parte, los países europeos tienden a tener valores de entropía bajos o moderados, indicando datos más homogéneos, mientras que algunos países asiáticos alcanzan valores cercanos a 1, reflejando mayor heterogeneidad y dispersión en sus datos. Es notable que, 4 de los 5 países con menor entropía son nórdicos (Dinamarca, Islandia, Noruega, Finlandia). Al igual que el grupo de baja entropía, estos países mantienen sus altos niveles de forma estable a lo largo del tiempo. La mayoría de estos países se encuentran en Europa del Este o en la región de los Balcanes. En definitiva, el análisis revela dos grupos de países con características estructurales muy diferentes y persistentes en el tiempo, con una marcada división geográfica entre el norte/oeste y el este de Europa.

En Oceanía, la dispersión varía significativamente entre países, desde datos muy concentrados en Australia hasta mayor dispersión en las Islas Salomón. La tendencia general muestra un ligero aumento en la dispersión media de los datos en la región durante el período analizado, reflejando las diferentes condiciones y estructuras de datos entre países insulares y continentales.

La Figura 2 revela una marcada disparidad en los niveles de entropía promedio entre las diferentes regiones del mundo, destacando una clara división entre los continentes. África y Asia presentan los niveles más altos de entropía, mientras que Europa muestra, con una diferencia muy significativa, el nivel más bajo.

En síntesis, podemos apreciar que el análisis global muestra que África es la región con la estructura más diversa o “entrópica”, seguida de cerca por Asia. En el extremo opuesto, Europa se caracteriza por tener una estructura significativamente más ordenada, concentrada y con menor diversidad. Esta diferencia tan pronunciada sugiere que existen factores estructurales, económicos o sociales fundamentales que distinguen a Europa del resto de las regiones del mundo en relación con la métrica que esta entropía está capturando.

Figura 2. Entropía promedio por continente

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones.

El presente estudio propone un marco metodológico innovador que integra la lógica difusa con la entropía de Shannon para evaluar el grado de orden, dispersión e incertidumbre en las dimensiones que conforman el Índice de Progreso Social (IPS) en 146 países durante el período 2014–2018. La principal contribución radica en trasladar el análisis del progreso social desde una medición estática basada en niveles absolutos hacia una evaluación estructural que captura la coherencia interna entre sus dimensiones.

Los resultados evidencian la existencia de patrones regionales claramente diferenciados. Europa, particularmente los países nórdicos, presenta niveles consistentemente bajos de entropía, lo que sugiere una estructura de progreso social más integrada, equilibrada y estable en el tiempo. En contraste, varios países del África subsahariana exhiben valores cercanos al máximo de entropía, reflejando alta dispersión, desequilibrios entre dimensiones y mayor fragilidad estructural. Asia y América muestran comportamientos intermedios con heterogeneidad significativa entre países.

Estos hallazgos permiten interpretar la entropía no únicamente como una medida de variabilidad estadística, sino como un indicador de cohesión estructural del desarrollo social. Una baja entropía sugiere consistencia y alineación entre “Necesidades Humanas Básicas”, “Fundamentos del Bienestar” y “Oportunidades”, mientras que valores elevados reflejan trayectorias de desarrollo fragmentadas o desarticuladas.

Desde el punto de vista metodológico, la incorporación de la lógica difusa permite modelar adecuadamente la incertidumbre inherente a indicadores sociales complejos, mientras que la entropía de Shannon proporciona una métrica robusta y comparativamente objetiva para cuantificar el desorden estructural. Esta combinación reduce la dependencia de juicios subjetivos en la asignación de pesos y fortalece la comparabilidad internacional.

En términos de implicaciones, el enfoque propuesto ofrece una herramienta complementaria para responsables de política pública y organismos internacionales, ya que permite identificar no solo el nivel de progreso social alcanzado, sino también la consistencia



interna de dicho progreso. Países con niveles aceptables de desempeño podrían, sin embargo, presentar altas dispersiones internas que comprometan su sostenibilidad a largo plazo.

No obstante, el estudio presenta limitaciones. En primer lugar, la medición depende de la disponibilidad y calidad de los datos del IPS. En segundo término, aunque la entropía de Shannon es una métrica ampliamente validada, diferentes medidas de divergencia podrían generar variaciones en los resultados. Futuras investigaciones podrían ampliar el horizonte temporal, incorporar análisis dinámicos de convergencia o divergencia entrópica, y contrastar los resultados con otras métricas de desigualdad estructural.

En síntesis, los resultados obtenidos permiten confirmar la hipótesis planteada, evidenciando una relación inversa entre los niveles de entropía de Shannon y la coherencia estructural del progreso social, donde menores niveles de desorden se asocian con una mayor integración y equilibrio entre las dimensiones del Índice de Progreso Social. Este hallazgo refuerza la pertinencia del enfoque metodológico adoptado, al demostrar que la combinación de lógica difusa y entropía constituye una herramienta robusta para analizar sistemas complejos caracterizados por incertidumbre y heterogeneidad. Asimismo, las diferencias observadas entre regiones ponen de manifiesto la existencia de estructuras de desarrollo social desiguales, lo que sugiere la necesidad de diseñar políticas públicas más focalizadas que atiendan los desequilibrios internos de cada país. Finalmente, este estudio contribuye al campo del análisis del desarrollo al incorporar una perspectiva estructural basada en la medición del desorden, abriendo la posibilidad de futuras investigaciones que profundicen en la dinámica temporal y en la integración de nuevas variables para una comprensión más completa del progreso social.

Referencias bibliográficas.

- Ahmadi, H., Mohebi, M., Nikbeen, H., Rasoli, K., Sharifpour, Y., Soleymani, A., Taghvaaee, V.M., Yousefi, A., 2021. Sustainable development and modern customs: A review on customs conventions of World Customs Organization. *Global Trade and Customs Journal* 16 (7), 363–383. <https://kluwerlawonline.com/journalarticle/Global+Trade+and+Customs+Journal/16.7/GTCJ2021040>.
- Alonso-Martínez, D., 2018. Social progress and international patent collaboration. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* 134, 169–177.
- Andriantiatsaholiniaina, L. A., Kouikoglou, V. S., & Phillis, Y. A. (2004). Evaluating strategies for sustainable development: fuzzy logic reasoning and sensitivity analysis. *Eco-logical Economics*, 48(2), 149–172. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2003.08.009>
- Ardin, C. (2017). Applying fuzzy logic theory to performance management, *Pressacademia*, 5(1), pp. 153–162. Available at: <https://doi.org/10.17261/pressacademia.2017.584>.
- Asghar, M., Ben Cheikh, N., Hunjra, A.I., Khan, A., 2024. Assessing the impact of natural capital and innovation on sustainable development in developing countries. *J. Clean. Prod.* 460, 142576. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142576>.
- Barron, P., Cord, L., Cuesta, J., Espinoza, S., Woolcock, M., 2023. Social sustainability in development: meeting the challenges of the 21st century. World Bank. Publications.
- Beltrán-Esteve, M., Peiró-Palomino, J., Picazo-Tadeo, A.J., et al., 2023. Is the European Social Progress Index robust? Implications for the design of European Union regional cohesion policy. *Reg. Stud.* 57(11), 2285–2306.
- Cebi, S., Karakurt, N. F., Kurtulus, E., & Tokgoz, B. (2024). Development of a decision

- support system for client acceptance in independent audit process. *International Journal of Accounting Information Systems*, 53, 100683. <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2024.100683>
- Chen, L., & Pan, W. (2021). Review fuzzy multi-criteria decision-making in construction management using a network approach. *Applied Soft Computing*, 102, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107103>
- Christos Bentsos, Dionysios Polemis; Concentration of the LNG seaborne trade. *Maritime Business Review* (2025); <https://doi.org/10.1108/MABR-10-2024-0079>
- Cover, T. M. ., & Thomas, J. A. . (2006). *Elements of information theory*. Wiley-Interscience.
- De Sisto, M., Ul-Durar, S., Arshed, N., Iqbal, M., & Nazarian, A. (2024). Natural resource extraction-Sustainable development relationship and energy productivity moderation in resource-rich countries: A panel Bayesian regression analysis. *Journal of Cleaner Production*, 477, 143775.
- Firli, A., Rahadian, D., Dinçer, H., Yüksel, S., Isyuwardhana, D., Cahyaningsih, N., & Fariska, P. (2025). Expert-based sustainable investment strategies for SMEs with hybrid molecular fuzzy learning algorithms. *Sustainable Futures*, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100575>
- Germano, F. (2022). Entropy, directionality theory and the evolution of income inequality. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 198, 15–43. <https://doi.org/10.1016/j.jebo.2022.03.017>
- Hajian, M., Jangchi Kashani, S., 2021. Evolution of the concept of sustainability. from Brundtland Report to sustainable development goals. In: *Sustainable Resource Management*. Elsevier, pp. 124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824342-8.00018-3>.
- Hendiani, S., & Bagherpour, M. (2019). Developing an integrated index to assess social sustainability in construction industry using fuzzy logic. *Journal Of Cleaner Production*, 230, 647-662. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.055>
- Herencia, J. A. (2012). A Probabilistic View of De Luca and Termini's Entropy (pp. 4–14). https://doi.org/10.1007/978-3-642-31715-6_2
- Htitich, M., Krylová, P., & Harmáček, J. (2024). Just Transition Score: Measuring the relative sustainability of social progress. *Environmental And Sustainability Indicators*, 23, 100440. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100440>
- Jaynes, E.T. (1957) *Information Theory and Statistical Mechanics*. *Physical Review*, 106, 620-630. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.106.620>
- Kamran, M., Rafique, M.Z., Nadeem, A.M., Anwar, S., 2023. Does inclusive growth contribute towards sustainable development? evidence from selected developing countries. *Soc. Indic. Res.* 165 (2), 409–429. <https://doi.org/10.1007/s11205-022-03020-6>.
- Kerimkhulle, S., Obrosova, N., Shananin, A., Tokhmetov, 2023. A Young Duality for Variational Inequalities and Nonparametric Method of Demand Analysis in Input- Output Models with Inputs Substitution: Application for Kazakhstan Economy. *Mathematics* 11 (19), 4216. <https://doi.org/10.3390/math11194216>.
- Khodaparast Shirazi, J., Mohamad Taghvaei, V., Nasiri, M., et al., 2020. Sustainable development and openness in oil-exporting countries: green growth and brown growth. *Economic Structures* 9, 40. <https://doi.org/10.1186/s40008-020-00216-2>.
- Kirkby, J., O'Keefe, P., Timberlake, L., 2023. Sustainable development: an introduction. *The Earthscan Reader in Sustainable Development* 1–14. <https://doi.org/10.4324/9781003403432-1>.



- Lin, J.H. (1991) Divergence Measures Based on the Shannon Entropy. *IEEE Transactions on Information Theory*, 37, 145-151.
- Liu, P., Liu, X. and Yang, H. (2019), "Evaluation of the marine economic development quality in Qingdao based on entropy and grey relational analysis", *Marine Economics and Management*, Vol. 2 No. 1, pp. 29-38, doi: <https://doi.org/10.1108/maem-08-2019-0005>.
- Llorente-González, L., Alberich, J. P., Genovese, A., & Lowe, B. H. (2025). Towards radical circular economy futures: Addressing social relations of production. *Technological Forecasting and Social Change*, 213, 123972. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2025.123972>
- Meller, P. (1973). La medición de entropía como indicador del grado de concentración industrial en Chile. Años 1937, 1957, 1967. *Cuadernos de Economía*, 10(30/31), 168-194.
- Miguel-Velasco, A. E., Maldonado-Cruz, P., Torres-Valdéz, J. C., & Cruz-Atayde, M. (s. f.). La entropía como indicador de las desigualdades regionales en México. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212008000200006
- Mohamad Taghvaei, V., Assari Arani, A., Nodehi, M., Khodaparast Shirazi, J., Agheli, L., Neshat Ghoghogh, H.M., Salehnia, N., Mirzaee, A., Taheri, S., Mohammadi Saber, R., Faramarzi, H., Alvandi, R., Ahmadi Rahbarian, H., 2023. Sustainable development goals: transportation, health and public policy. *Review of Economics and Political Science* 8 (2), 134–161. <https://doi.org/10.1108/REPS-12-2019-0168>.
- Ni, L. and Fang, F. (2016) Entropy-Based Model-Free Feature Screening for Ultrahigh-Dimensional Multiclass Classification. *Journal of Nonparametric Statistics*, 28, 515-530. <https://doi.org/10.1080/10485252.2016.1167206>
- Odetola, P. I., Babalola, B. J., Afolabi, A. E., Anamu, U. S., Olorundaisi, E., Umba, M. C., Phahlane, T., Ayodele, O. O., & Olubambi, P. A. (2024). RETRACTED: Exploring high entropy alloys: A review on thermodynamic design and computational modeling strategies for advanced materials applications. *Heliyon*, 10(22), e39660. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39660>
- Ormos, M. & Zibriczky, D. (2014). Entropy-based financial asset pricing. *Plos One* DOI:10.1371/journal.pone.0115742.
- Peir'o-Palomino, J., Gianmoena, L., Picazo-Tadeo, A.J., Rios, V., 2024. Social trust and the advanced aspects of social progress. Evidence for the European regions. *Eur. J. Polit. Econ.* 83, 102547. <https://doi.org/10.1016/j.ejpoleco.2024.102547>.
- Phillis, Y. A., & Andriantiatsaholinaina, L. A. (2001). Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic. *Ecological Economics*, 37(3), 435–456. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00290-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00290-1)
- Purvis, B., Mao, Y., Robinson, D., 2019. Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins. *Sustain. Sci.* 14, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>.
- Qazi, A. (2025). Exploring the interdependencies among social progress index (SPI) components and their impact on country-level sustainability performance based on Bayesian Belief Network. *Regional Sustainability*, 6(3), 100230. <https://doi.org/10.1016/j.regsus.2025.100230>
- Ramadhani, Y. and Susanto, D. (2022). Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Lpp Rri', *J. Jaringan sistem informasi robotik (JSR)*, 6(2), pp. 226–232.
- Sadiq, M., Ngo, T.Q., Pantamee, A.A., Khudoykulov, K., Thi Ngan, T., Tan, L.P., 2023. The role of environmental social and governance in achieving sustainable development

- goals: evidence from ASEAN countries. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja* 36 (1), 170–190. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2072357>.
- Salvia, A.L., Leal Filho, W., Brandli, L.L., Griebeler, J.S., 2019. Assessing research trends related to Sustainable Development Goals: local and global issues. *J. Clean. Prod.* 208, 841–849. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.242>.
- Sepúlveda-Fontaine, S. A., & Amigó, J. M. (2024). Applications of Entropy in Data Analysis and Machine Learning: A Review. *Entropy*, 26(12), 1126. <https://doi.org/10.3390/e26121126>
- Shannon, Claude Elwood (1948), “Mathematical Theory of Communication”, *Bell System Technical Journal*, 27, University of Illinois Press, Illinois, pp. 379–423.
- Shengde, H. and Zhonghua, L. (2022), “Performance analysis of marine ecological environment governance based on dpsir and entropy weight TOPSIS model”, *Mobile Information Systems*, Vol. 2022, pp. 9224879-10, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/9224879>.
- Singh, M., Malik, I., Hazzazi, F., & Kumar, A. (2025). High entropic engineering for sustainable energy and environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 13(5), 118132. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.118132>
- SPI, 2026. Social Progress Report. The Social Progress Imperative. <https://www.socialprogress.org/2025-social-progress-index/>.
- Stojic, G. (2012). Using fuzzy logic for evaluating the level of countries’ (regions’) economic development. *Panoeconomicus*, 59(3), 293–310. <https://doi.org/10.2298/PAN1203293S>
- Tran, M. T., & Sarkar, A. (2025). Making Sense of the Messy: How Fuzzy Logic Can Help Us Solve Real-Life Problems (pp. 89–101). https://doi.org/10.1007/978-3-031-77719-6_5
- Ukav, I. (2017), “Market structures and concentration measuring techniques”, *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics and Sociology*, Vol. 19 No. 4, pp. 1-16, doi: <https://doi.org/10.9734/AJAEES/2017/36066>.
- Vaskovskyi, A., 2020. Natural resources and quality of life: international evidence. *Singapore Econ. Rev.* 69, 169–182. <https://doi.org/10.1142/s0217590820500605>.
- Wang, C., Hong, L., Qiang, X., & Xu, M. (2024). Novel numerical method for uncertainty analysis of coupled vibro-acoustic problem considering thermal stress. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 420, 116727.
- Xu, G., Wang, X., Zhou, L., Shao, L., & Xu, X. (2013). Discrete Entropic Uncertainty Relations Associated with FRFT. *Journal of Signal and Information Processing*, 04(03), 120–124. <https://doi.org/10.4236/jsip.2013.43B021>
- Xue, S., & Lin, C.-L. (2025). Integrated fuzzy MCDM for consumer-driven ceramic manufacturing sustainability within the UN SDGs framework. *Scientific Reports*, 15(1), 41634. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-25637-6>
- Yixiong He, Kewei Chen (2025); Research on the development quality of China’s marine carbon sinks. *Marine Economics and Management*; <https://doi.org/10.1108/MAEM-06-2025-0020>
- Yu, H., Wang, Y. and Li, D. (2023), “Using the AHP-entropy weight method to study regional marine economy resilience in China”, *Journal of Coastal Research*, Vol. 39 No. 5, pp. 960-969, doi: <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-22-00102.1>.
- Zadeh, L.A. (1965) Fuzzy Sets. *Information Control*, 8, 338-353. [http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)



Zeqiraj, V., Sohag, K., & Hammoudeh, S. (2022). Financial inclusion in developing countries: Do quality institutions matter?. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 81, 101677.