

Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen I-N°3 Diciembre 2025

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Perú

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Análisis de indicadores para el desarrollo sostenible basado en el modelo armónico sostenible

Dr. Mario Alberto Gonzales Torres

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

correo electrónico: mgonzalest@unmsm.edu.pe

Resumen: El presente trabajo de investigación se enmarca dentro de los alcances de los objetivos del desarrollo sostenible y está enfatizado en viabilizar el desarrollo sostenible en función de la sostenibilidad conceptualizada para mejorar la calidad de vida, el entorno de las personas, desenvolviéndose sin destruir el sustento de la vida y futuras generaciones. En tal alcance la investigación está enfocada en establecer que los componentes de sostenibilidad deben cumplir una correspondencia de interacción entre ellas para corresponder a un sistema en equilibrio, característica propia de un sistema natural. El marco de referencia de la investigación se centra en correlacionar el concepto sistémico de ecosistema y un sistema de masas de 04 grados de libertad mediante la aplicación del análisis de movimiento armónico sostenible (MAS)* y lograr el análisis del desarrollo sostenible viable para una actividad económica, lo cual se concreta mediante la evaluación de indicadores e índices asociados a la sostenibilidad ambiental, económica, social e institucional a fin de aprovechar el recurso de manera eficiente y eficaz. La investigación es una propuesta para la toma de decisiones para plasmar el desarrollo sostenible con el uso del movimiento armónico sostenible aplicado a los índices de sostenibilidad construidos a partir de la valoración de indicadores de sostenibilidad, plantear modelos con alternativas y determinar un modelo óptimo de desarrollo sostenible.

Palabras clave: Desarrollo sostenible/ Indicadores de sostenibilidad/ Movimiento armónico sostenible.

Abstract: This research falls within the scope of the sustainable development goals and emphasizes making sustainable development viable based on the concept of sustainability, aiming to improve quality of life and the environment for people, while ensuring that the sustenance of life and future generations is not compromised. Within this framework, the research focuses on establishing that the components of sustainability must interact to form a balanced system, a characteristic of natural systems. The research framework centers on correlating the systemic concept of an ecosystem with a mass system of four degrees of freedom through the application of sustainable harmonic motion (SHM) analysis*. This allows for the analysis of viable sustainable development for an economic activity, which is achieved by evaluating indicators and indices associated with environmental, economic, social, and institutional sustainability in order to utilize resources efficiently and effectively. The research is a proposal for decision-making to embody sustainable development with the use of sustainable harmonic movement applied to sustainability indices built from the assessment of sustain-

nability indicators, propose models with alternatives and determine an optimal model of sustainable development.

Keywords: Sustainable development/ Sustainability indicators/ Sustainable harmonic movement.

Abstract: Cette recherche s'inscrit dans le cadre des objectifs de développement durable (ODD) et met l'accent sur la viabilité du développement durable, fondé sur le concept de durabilité. Elle vise à améliorer la qualité de vie et l'environnement des populations, tout en assurant un développement respectueux des ressources naturelles et des générations futures. Dans ce contexte, la recherche s'attache à démontrer que les composantes de la durabilité interagissent pour former un système en équilibre, caractéristique des systèmes naturels. Le cadre de recherche repose sur la corrélation du concept systémique d'écosystème avec un système de masse à quatre degrés de liberté, grâce à l'application de l'analyse du mouvement harmonique durable (MHD)*. Cette analyse permet d'évaluer la viabilité du développement durable d'une activité économique, en considérant des indicateurs et des indices liés à la durabilité environnementale, économique, sociale et institutionnelle, afin d'utiliser les ressources de manière efficiente et efficace. Cette recherche propose une méthode de prise de décision visant à intégrer le développement durable grâce à l'utilisation d'un mouvement harmonique durable appliqué à des indices de durabilité construits à partir de l'évaluation d'indicateurs de durabilité, à proposer des modèles alternatifs et à déterminer un modèle optimal de développement durable.

Keywords: Développement durable/ Indicateurs de durabilité/ Mouvement harmonique durable.

1. Introducción

La búsqueda de indicadores de sostenibilidad ha sido utilizada como variables independientes, representando un problema; pues pueden no representar el problema de establecer un modelo de desarrollo sostenible y siendo, por lo general, el análisis con cierta subjetividad. Así, la investigación desarrollada establece un análisis de indicadores de sostenibilidad adecuados e interactuantes para su cuantificación a fin de establecer un modelo de desarrollo sostenible óptimo. El concepto de sostenibilidad ha sido desarrollado sobre la característica natural de un sistema natural, el equilibrio entre sus componentes e interacción y medir la sostenibilidad para lograr el desarrollo sostenible. Los indicadores como variables tienen el propósito de medir un cambio en un determinado proceso, siendo objetivamente verificables y replicables y percibidos como instrumento analítico, que facilita la medición de cambios por los que atraviesa un sistema. Teniendo en consideración que "los indicadores de desarrollo sostenible intentan mostrar las dinámicas económicas, sociales, ambientales y gobernanza en sus interrelaciones". Los indicadores de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas considera la estructura de indicadores que tiene como componentes el aspecto económico, ambiental, social e institucional. (ONU, 2001).

El análisis de la investigación se realizó bajo el enfoque de la naturaleza de los datos y cómo lo expresa (Soler, 2010), "...Siempre se comienza a estudiar un fenómeno cualitativamente a efectos de establecer una descripción y un posible modelo de comportamiento, y en estado más avanzado se procede a medir las variables más relevantes del modelo...". La investigación es descriptiva estableciéndose características y propiedades del tema y es exploratoria en el alcance de examinar el desarrollo sostenible sobre las bases de un análisis cuantitativo de sus indicadores de sostenibilidad. Así las estrategias para determinar los indicadores de sostenibilidad apropiados se realizan según los siguientes alcances: "1. Selección de indicadores a partir de una aproximación intuitiva (subjetiva). 2. Selección de indicadores a partir de un menú construido con base en experiencia previa. 3. Selección de indicadores a partir de un modelo causa/efecto o una aproximación analítica". (Glave et al., 1995).

Para la construcción de un modelo dado su tipo y complejidad se pueden utilizar diferentes técnicas que determinan la naturaleza del método de solución (Taha, 2012), en tal alcance se ha propuesto el uso del modelamiento para los indicadores de sostenibilidad sobre la base de un sistema físico de movimiento armónico oscilatorio con 04 grados de libertad. Asimismo, el movimiento armónico sostenible MAS se establece sobre la base del modelo físico del movimiento armónico oscilatorio de un sistema de masas resuelto con el método Holzer, siendo un método tabular usado para determinar las frecuencias naturales de un sistema de masas unidades soportadas en un extremo. Su solución se basa en asumir frecuencias sucesivas, cada una seguida por el cálculo de las amplitudes del sistema. La ecuación que gobierna el sistema es:

$$X_i = X_{i-1} - (w^2/k_i) \sum_{j=1}^{i-1} m_j X_j$$

Donde X: Desplazamiento, m: Masa, w: Frecuencia, k: Constante resorte, wn: Frecuencia natural. La determinación de frecuencias naturales (wn) se obtiene tabulando y graficando las frecuencias según la ecuación descrita. La condición inicial es X igual a la unidad y la constante k igual a 1. (Seto, 1964).

2. Metodología

Para el modelamiento en la determinación del desarrollo sostenible se establecen los siguientes instrumentos.

2.1. Valoración de indicadores de sostenibilidad

Se fundamenta en desarrollar una pequeña porción del problema original y encontrar la solución óptima de valoración para lo cual se integran métodos. La valoración de los indicadores de sostenibilidad para los modelos propuestos, ha sido establecida en unidades de valoración adimensional.

2.2. Índices de sostenibilidad

La sostenibilidad de indicadores se sustenta en la configuración de un sistema físico de masas sometido al movimiento armónico oscilatorio, considerándose en similitud el sistema de indicadores compuesto por los índices económico, social, ambiental e institucional que interactúan en un movimiento armónico sostenible (MAS) ideal, con frecuencias naturales y sin fricción o resistencia. La construcción de índices será establecida según:

$$I_i = V_i / \sum_{j=1}^4 V_j$$

Donde I_i es el índice de sostenibilidad económica, social, ambiental e institucional, V_i es la valoración asignada a cada indicador.

2.3. Movimiento armónico sostenible

La evaluación de los índices de sostenibilidad para la solución del problema se realiza utilizando el método de Holzer adaptado, denominado movimiento armónico sostenible (MAS) con lo cual se determina las frecuencias naturales de sostenibilidad bajo la condición inicial de valor S unitario, e iterada mediante la relación siguiente:

$$S_i = S_{i-1} - (W^2/k_i) \sum_{j=1}^{i-1} I_j S_j$$

Donde S es el desplazamiento de sostenibilidad y representa la amplitud con la cual el indicador respectivo se desplaza en correspondencia al indicador. W es la frecuencia de sostenibilidad, siendo los valores de frecuencia con la cual el sistema se mueve, en tal alcance serán asociados a los índices establecidos. W_n es la frecuencia de sostenibilidad natural, son los valores de frecuencia con los cuales el sistema se mueve y para lo cual, la amplitud de sostenibilidad es cero. K es la constante de sostenibilidad y se establece como valor constante igual a 1. I es el indicador de sostenibilidad, valor del índice determinado para la sostenibilidad económica, social, ambiental e institucional.

Asimismo, se establecen las medidas de validación, descritas como prueba variación y prueba de tendencia de las frecuencias naturales y con ello determinar la sostenibilidad de los indicadores que corresponderán al modelo adecuado.

2.4. Prueba de variación de frecuencias naturales de sostenibilidad

Es una prueba cuantitativa, establecida para cada modelo mediante la medición de la variación relativa de las frecuencias naturales entre indicadores por modelo; determinándose qué valores mayores a 0.2 unidades permiten un MAS adecuado, mientras que valores menores generan superposición de frecuencias no siendo notorio el MAS.

2.5. Prueba de tendencia de frecuencias naturales de sostenibilidad

Es una prueba cuantitativa, establecida para frecuencias naturales por indicador económico, social, ambiental e institucional entre modelos propuestos, analizando la tendencia de las cuatro frecuencias naturales. Las frecuencias naturales se comparan con los otros modelos en cuanto a la tendencia de sus indicadores.

2.6. Trazas de matriz de modelo de sostenibilidad

Es una matriz diagonal $[I_{ij}] / |I_{ij}|$, la cual es establecida en la relación (i) y que cumple la función de operador para el desarrollo sostenible $[DS_i]$ y sus indicadores de sostenibilidad para una actividad determinada.

$$\begin{aligned} [DS_i] &= \mu [DS_{ij}] \cdot [DS_i] \\ [DS_i] &= \mu' [I_{ij}] \cdot [DS_i] \\ [DS_i] &= \mu'' [I_{ij}] / |I_{ij}| \cdot [DS_i] \end{aligned} \quad (i)$$

Siendo: $|I_{ij}|$ el mayor escalar valor para I_{ij} , con $i = j$

3. Resultados y discusión

La descripción de los indicadores de sostenibilidad se presenta configurada en 04 componentes, denominados indicador económico, social, ambiental e institucional, conformándose así tres modelos y sus 04 alternativas para cada modelo en el objetivo de determinar el óptimo, para lograr el desarrollo sostenible en una actividad económica. Las valoraciones de los indicadores para una actividad referente han sido determinadas, con las cuales se generaron los índices de capacitación económica; índice de capacitación social, índice de capacitación ambiental e índice institucional asociado al riesgo empresarial. Teniéndose en consideración la cuantificación o estimación del riesgo empresarial, este asociado a la sostenibilidad institucional del modelo como una base para la inversión en cuanto se requiera viabilizar el modelo en su praxis. Se consideró también en la vulnerabilidad la identificación del riesgo al que se expone la actividad y la dimensión del peligro asociado a las condiciones de comercialización supeditadas a la estacionalidad del ámbito geográfico, para lo cual se consideró las siguientes categorías de riesgo empresarial, riesgo medio asociado a una vulnerabilidad media y peligro medio, riesgo bajo asociado a una vulnerabilidad media y peligro bajo, riesgo bajo asociado a una vulnerabilidad baja y peligro medio., riesgo bajo asociado a una vulnerabilidad baja y peligro bajo.

3.1. Valoración de indicadores

La valoración de indicadores se establece en los modelos I, II y III y sus alternativas 1,2,3 y 4 en correspondencia con los indicadores económico, social, ambiental, asociado a las capacitaciones considerando 40, 85 y 125 unidades de valoración y para el indicador institucional asociado al riesgo empresarial con 60, 70, 80 y 90 unidades de valoración. Ver cuadro N° 1.

Cuadro N° 1: Indicadores de sostenibilidad de modelos I, II, III

| Valoración de Sostenibilidad | Indicador d Sostenibilidad | | Modelo I | | | | Modelo II | | | | Modelo III | | | |
|------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------|----|----|----|----------------------|----|----|----|----------------------|-----|-----|-----|
| | | | Alternativas 1,2,3,4 | | | | Alternativas 1,2,3,4 | | | | Alternativas 1,2,3,4 | | | |
| Económico | I_E | Capacitación Económica | 40 | 40 | 40 | 40 | 85 | 85 | 85 | 85 | 125 | 125 | 125 | 125 |
| Social | I_S | Capacitación Social | 40 | 40 | 40 | 40 | 85 | 85 | 85 | 85 | 125 | 125 | 125 | 125 |
| Ambiental | I_A | Capacitación Ambiental | 40 | 40 | 40 | 40 | 85 | 85 | 85 | 85 | 125 | 125 | 125 | 125 |
| Institucional | I_I | Riesgos Empresariales | 60 | 70 | 80 | 90 | 60 | 70 | 80 | 90 | 60 | 70 | 80 | 90 |

Fuente: Elaboración propia

3.2. Índices de sostenibilidad

La determinación del sistema de índices adecuado para modelo de sostenibilidad, es establecida mediante la determinación de las frecuencias naturales, determinadas para el sistema de indicadores de sostenibilidad basado en la valoración de indicadores establecidos. Ver cuadros n° 2, n° 3 y n° 4.

Cuadro N° 2: Índices de sostenibilidad de modelo I

| Indicador Sostenibilidad | Índice Sostenibilidad | Modelo I1 | Modelo I 2 | Modelo I 3 | Modelo I 4 |
|--------------------------|-----------------------|-----------|------------|------------|------------|
| I_E | W^E | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 0.19 |
| I_S | W^S | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 0.19 |
| I_A | W^A | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 0.19 |
| I_I | W^I | 0.33 | 0.37 | 0.40 | 0.43 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 3: Índices de sostenibilidad de modelo II

| Indicador Sostenibilidad | Índice Sostenibilidad | Modelo II 1 | Modelo II 2 | Modelo II 3 | Modelo II 4 |
|--------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| I_E | W^E | 0.27 | 0.26 | 0.25 | 0.25 |
| I_S | W^S | 0.27 | 0.26 | 0.25 | 0.25 |
| I_A | W^A | 0.27 | 0.26 | 0.25 | 0.25 |
| I_I | W^I | 0.19 | 0.22 | 0.24 | 0.26 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 4: Índices de sostenibilidad de modelos III

| Indicador Sostenibilidad | Indicé Sostenibilidad | Modelo III 1 | Modelo III 2 | Model III 3 | Modelo III 4 |
|--------------------------|-----------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| I_E | W^E | 0.29 | 0.28 | 0.27 | 0.27 |
| I_S | W^S | 0.29 | 0.28 | 0.27 | 0.27 |
| I_A | W^A | 0.29 | 0.28 | 0.27 | 0.27 |
| I_I | W^I | 0.14 | 0.16 | 0.18 | 0.19 |

Fuente: Elaboración propia

Los índices establecidos considerando la valoración de indicadores de los modelos I, II, III y sus alternativas; configuran las frecuencias del sistema de la actividad propuesta.

3.3. Frecuencias naturales de sostenibilidad

En base a la representación de los índices de sostenibilidad de cada modelo se aplicó el movimiento armónico sostenible MAS, determinándose las frecuencias naturales de sostenibilidad mediante tabulaciones, las cuales se muestran seguidamente en los cuadros n° 5, n° 6 y n°7.

Cuadro N° 5: Frecuencias naturales de sostenibilidad modelo I

| Indicador Sostenibilidad | Frecuencias Naturales | Modelo I 1 | Modelo I 2 | Modelo I 3 | Modelo I 4 |
|------------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|--------------|
| I_E | W_n^E | 0.70 | 0.69 | 0.76 | 3.35 |
| I_S | W_n^S | 2.00 | 2.06 | 2.01 | 4.26 |
| I_A | W_n^A | 3.18 | 3.09 | 3.28 | ∞ |
| I_I | W_n^I | 3.97 | 3.58 | 4.16 | ∞ |
| Condición de frecuencias naturales | | Aceptable | Aceptable | Aceptable | No Aceptable |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 6: Frecuencias naturales de sostenibilidad modelo II

| Indicador Sostenibilidad | Frecuencias naturales | Modelo II 1 | Modelo II 2 | Modelo II 3 | Modelo II 4 |
|------------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| I_E | W_n^E | 0.73 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| I_S | W_n^S | 2.07 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| I_A | W_n^A | 3.05 | 3.05 | 3.08 | 3.05 |
| I_I | W_n^I | 3.66 | 3.70 | 3.76 | 3.76 |
| Condición de frecuencias naturales | | Aceptable | Aceptable | Aceptable | Aceptable |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 7: Frecuencias naturales de sostenibilidad modelo III

| Indicador Sostenibilidad | Frecuencias Naturales | Modelo III 1 | Modelo III 2 | Modelo III 3 | Modelo III 4 |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| I_E | W_n^E | 0.75 | 0.76 | 0.73 | 0.70 |
| I_S | W_n^S | 2.10 | 2.06 | 2.07 | 2.05 |
| I_A | W_n^A | 3.10 | 3.09 | 3.09 | 3.05 |
| I_I | W_n^I | 3.65 | 3.65 | 3.68 | 3.66 |
| Condición de frecuencias naturales | | Aceptable | Aceptable | Aceptable | Aceptable |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de índices en el MAS, la condición de frecuencias naturales para la sostenibilidad en los modelos I, II, III; presentó que las frecuencias naturales en los modelos I y sus alternativas 1,2,3, modelo II y sus alternativas 1,2,3,4 y modelo III y sus alternativas 1,2,3,4 fueron aceptables a excepción del modelo I con su alternativa 4 que no fue aceptable.

3.4. Prueba de variación de frecuencias naturales de sostenibilidad

Esta prueba de variación de frecuencias naturales entre indicadores para cada modelo es determinada en los cuadros n° 8, n° 9 y n° 10.

Cuadro N° 8: Variación de frecuencias naturales modelo I

| Variación Relativa de valores de W_n | Modelo I 1 | Modelo I 2 | Modelo I 3 | Modelo I 4 |
|---|------------|------------|------------|--------------|
| $W_n^S - W_n^E$ | 1.30 | 1.37 | 1.35 | 0.91 |
| $W_n^A - W_n^S$ | 2.18 | 1.03 | 1.27 | ∞ |
| $W_n^I - W_n^A$ | 0.79 | 0.49 | 0.88 | ∞ |
| Condición de variación de frecuencias naturales | Aceptable | Aceptable | Aceptable | No Aceptable |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 9: Variación de frecuencias naturales modelo II

| Variación Relativa de valores de W_n | Modelo II 1 | Modelo II 2 | Modelo II 3 | Modelo II 4 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $W_n^S - W_n^E$ | 1.34 | 1.30 | 1.30 | 1.30 |
| $W_n^A - W_n^S$ | 0.98 | 1.05 | 1.08 | 1.05 |
| $W_n^I - W_n^A$ | 0.61 | 0.65 | 0.68 | 0.71 |
| Condición de variación de frecuencias naturales | Aceptable | Aceptable | Aceptable | Aceptable |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 10: Variación de frecuencias naturales modelo III

| Variación Relativa de valores de W_n | Modelo III 1 | Modelo III 2 | Modelo III 3 | Modelo III 4 |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| $W_n^S - W_n^E$ | 1.35 | 1.30 | 1.32 | 1.35 |
| $W_n^A - W_n^S$ | 1.00 | 1.03 | 1.02 | 1.00 |
| $W_n^I - W_n^A$ | 0.55 | 0.56 | 0.59 | 0.61 |
| Condición de variación de frecuencias naturales | Aceptable | Aceptable | Aceptable | Aceptable |

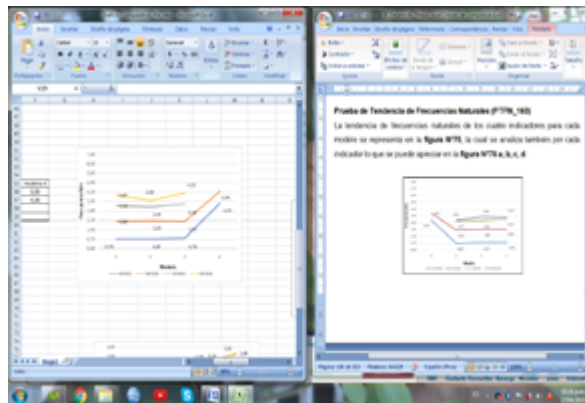
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis de prueba de variación de frecuencias naturales, la condición de variación para la sostenibilidad de los modelos I, II, III; presentó que la variación en los modelos I y sus variantes 1,2,3, modelo II y sus alternativas 1,2,3,4 y modelo III y sus alternativas 1,2,3,4 fueron aceptables a excepción del modelo I y su alternativa 4 no fue aceptable.

3.5. Prueba de tendencia de frecuencias naturales de sostenibilidad

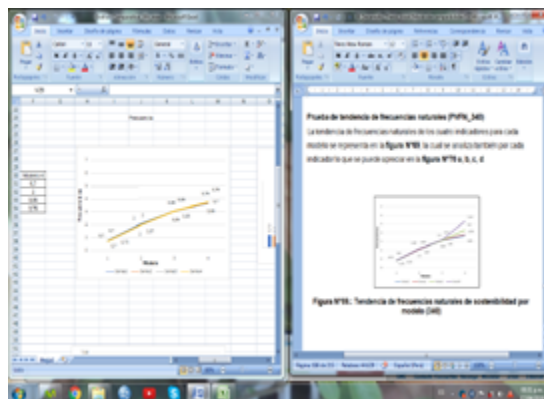
En los gráficos N°1, N°2 y N°3 se muestra las tendencias de frecuencias naturales de índices económico, social ambiental e institucional entre modelos de las frecuencias naturales encontradas para los modelos I, II, III y sus alternativas.

Gráfico N° 1: Tendencia de frecuencias naturales modelo I



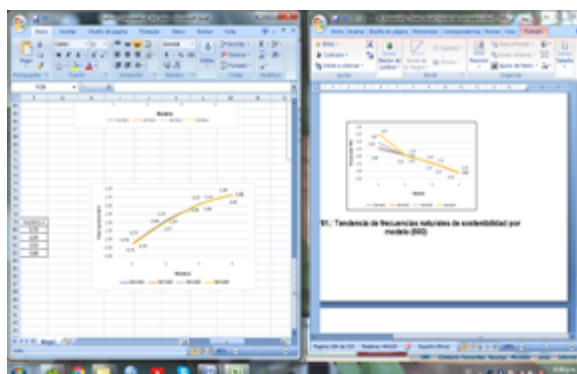
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 2: Tendencia de frecuencias naturales modelo II



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 3: Tendencia de frecuencias naturales modelo III



Fuente: Elaboración propia

La prueba de tendencias de frecuencias naturales para la sostenibilidad en los modelos I, II, III; representados en los gráficos muestran que el modelo II y el modelo III tienen una tendencia uniforme observándose que el modelo I y sus alternativas 1,2,3, presentan brecha y no cumplen una tendencia uniforme.

3.6. Trazas de matriz de modelo de sostenibilidad

La determinación de los valores traza para la matriz de indicadores normalizados para los modelos I, II y III y sus alternativas expresadas en la ecuación de modelo de sostenibilidad son representados en los cuadros n° 11, n° 12 y n° 13.

Cuadro N° 11: Trazas de matriz de sostenibilidad modelo I

| Traza normalizado | Modelo I 1 | Modelo I 2 | Modelo I 3 | Modelo I 4 |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| Indicé I_E | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.00 |
| Indicé I_S | 0.50 | 0.58 | 0.48 | 0.00 |
| Indicé I_A | 0.80 | 0.86 | 0.79 | ∞ |
| Indicé I_I | 1.00 | 1.00 | 1.0 | ∞ |
| Valor \sum Trazas | 2.48 | 2.57 | 2.45 | ∞ |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 12: Trazas de matriz de sostenibilidad modelo II

| Traza Normalizado | Modelo II 1 | Modelo II 2 | Modelo II 3 | Modelo II 4 |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Indicé I_E | 0.20 | 0.19 | 0.19 | 0.19 |
| Indicé I_S | 0.57 | 0.54 | 0.53 | 0.53 |
| Indicé I_A | 0.83 | 0.82 | 0.82 | 0.81 |
| Indicé I_I | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Valor \sum Trazas | 2.60 | 2.55 | 2.54 | 2.53 |

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 13: Trazas de matriz de sostenibilidad modelo III

| Traza Normalizado | Modelo III 1 | Modelo III 2 | Modelo III 3 | Modelo III 4 |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Indicé I_E | 0.21 | 0.21 | 0.20 | 0.19 |
| Indicé I_S | 0.58 | 0.56 | 0.56 | 0.56 |
| Indicé I_A | 0.85 | 0.85 | 0.84 | 0.83 |
| Indicé I_I | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Valor \sum Trazas | 2.64 | 2.62 | 2.60 | 2.58 |

Fuente: Elaboración propia

De la determinación de trazas para los modelos I, II, III y sus alternativas se tienen valores de 2.57, 2.60, 2.64 respectivamente por lo que el modelo III alternativa 1 presenta el valor de traza de matriz de sostenibilidad con un valor de 2.64.

4. Discusión

De acuerdo al análisis de índices en el MAS, la condición de frecuencias naturales para la sostenibilidad en los modelos I, II, III; presentó que las frecuencias naturales en los modelos I y sus alternativas 1,2,3, modelo II y sus alternativas 1,2,3,4 y modelo III y sus alternativas 1,2,3,4 fueron aceptables.

De acuerdo al análisis de prueba de variación de frecuencias naturales, la condición de variación para la sostenibilidad de los modelos I, II, III; presentó que la variación en los modelos I y sus variantes 1,2,3, modelo II y sus alternativas 1,2,3,4 y modelo III y sus alternativas 1,2,3,4 fueron aceptables.

La prueba de tendencias de frecuencias naturales para la sostenibilidad en los modelos I, II, III; representados en los gráficos, muestran que el modelo II y modelo III tienen una tendencia uniforme.

De la determinación de trazas para los modelos I, II, III y sus alternativas se tiene valores de 2.57, 2.60, 2.64 respectivamente por lo que el modelo III alternativa 1 presenta el valor de traza de matriz de sostenibilidad con un valor de 2.64.

El modelo de desarrollo sostenible óptimo para la actividad de acuerdo a los resultados obtenidos es representado por el modelo 3 alternativa 1, el cual considera que el desarrollo sostenible de la actividad es efectivo con los valores de indicadores de sostenibilidad asociados a la capacitación económica IE=125; capacitación social IS=125, capacitación ambiental IA=125, y riesgo empresarial II=60. Asimismo, del análisis también se identifica que los modelos I y II y sus alternativas quedan descartadas.

5. Conclusiones

La propuesta de desarrollo sostenible basada en la construcción de indicadores e índices, sometidos al movimiento armónico sostenible MAS, nos permite lograr analizar alternativas en la búsqueda del desarrollo sostenible para una determinada actividad.

La investigación utiliza el movimiento armónico sostenible MAS sobre la base de un atributo que tienen los ecosistemas referidos al equilibrio de sus componentes y que se representa en similitud al movimiento armónico representado por el modelo físico de masas en equilibrio, las cuales se asocian a los indicadores de sostenibilidad.

Las pruebas establecidas en el análisis de la sostenibilidad en la búsqueda del desarrollo sostenible, es un referente cuantitativo que interrelacionados es previsible tener otras pruebas para mejorar la propuesta

Los indicadores de sostenibilidad deben ser establecidos sobre la base del análisis de la valoración de los indicadores, para luego establecer los índices y someterlos al análisis de movimiento armónico sostenible.

La metodología MAS y sus pruebas de variación y tendencias de frecuencias naturales utilizadas, permiten un análisis de los indicadores de sostenibilidad para el desarrollo sostenible que ayudan a la toma de decisiones.

6. Literatura citada

ANDER-EGG, EZEQUIEL. (1995). INTRODUCCIÓN A LA PLANIFICACIÓN. ARGENTINA. LUMEN.

ALVAREZ, CESAR; HEISLEY, MORI. (2010) MODELO DE INNOVACIÓN PARA EL FORTALECIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS GOBIERNOS LOCALES. REVISTA ECONOMÍA Y DERECHO, VOL.7. LIMA. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS.

BORRAYO, RAFAEL. (2001). SUSTENTABILIDAD Y DESARROLLO ECONÓMICO. MÉXICO. MC GRAW-HILL.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. (2011). INNOVACIÓN SOCIAL Y DESARROLLO LOCAL.

GALLOPIN, GILBERTO. (2003). SOSTENIBILIDAD Y DESARROLLO SOSTENIBLE; UN ENFOQUE SISTÉMICO. SERIE 64. MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO. NUEVA YORK. ONU.

GLAVE, MANUEL; ESCOBAL, JAVIER. (1995). INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA LA AGRICULTURA ANDINA. DEBATE AGRARIO 23. MADRID. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.

GONZALES, MARIO. (2019). ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL BASADA EN UN MODELO FÍSICO. REV. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN FIGMMG-UNMSM VOL 22 N° 43, 2019: 143 – 150. LIMA.

GONZALES, MARIO. (2019). MODELO DE SOSTENIBILIDAD DE LA MINERÍA ARTESANAL DE ORO PARA EL DESARROLLO LOCAL DEL DISTRITO DE CHALA, AREQUIPA. UNMSM. CIBERTESIS LIMA.

HILLER, FREDERICK; LIEBERMAN, GERALD. (1997). INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES. MÉXICO. MC GRAW HILL.

LINSTONE, HAROLD; TUROFF, MURRAY, (1975). THE TECHNIQUES AND APPLICATIONS. NUEVA JERSEY. INSTITUTE OF TECHNOLOGY.

INDICATORS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT: GUIDELINES AND METHODOLOGIES. (2007). NEW YORK. UNITED NATIONS PUBLICATIONS.

ROWE, GENE; WRIGHT, GEORGE. (2001). EXPERT OPINIONS IN FORECASTING: THE ROLE OF THE DELPHI TECHNIQUE. BOSTON. SPRINGER INTERNATIONAL PUBLISHER.

- SASIENI, MAURICE. (1994). INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES. MEXICO. LIMUSA.
- SETO, WILLIAM. (1964). THEORY AND PROBLEMS OF MECHANICAL VIBRATIONS. NEW YORK. SCHAUUM PUBLISHING CO.
- STÖHR, W. (1985). SELECTIVE SELFRELANCE AND ENDOGENOUS REGIONAL DEVELOPMENT, UNGLEICHE ENTWICKLUNG UND REGIONALPOLITIK IN SÜDEUROPA. ED. NOHLEN & SCHULTZE, STUDIENVERLAG DR. N. BROCKMEYER. BOCHUM.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. (1987). OUR COMMON FUTURE. UNITED NATIONS.

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. <https://www.durespo.com/importancia-de-la-nutricion-animal/>
2. <https://es.pinterest.com/irelenart/>
3. <https://apttperu.com/costos-en-la-industria-textil/>https://stock.adobe.com/pe/images/warehouse-metal-blank-electroplating-plant-for-the-metal/194755542?prev_url=detail
4. <https://www.instagram.com/smartmarketingby/?hl=en&epik=djoy-JnU9NFgzWG1Qc3UwYnZRR3dRRXRyZHJCS1ZMaXpGMXNUdGEmcD-owJm49eDRDM244Voo2OXVsYVVpV2ZPOXhGdyZoPUFBQUFBR2xT-cU13>
5. <https://es.pinterest.com/priyankaminnu/>
6. Vega (2025)

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen I- N° 3 Diciembre 2025

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>