

Diseño de un modelo heurístico para la reducción de escala climática de 2° a 0.5° mediante Statistical Downscaling Model

Design of a heuristic model for climate downscaling from 2° to 0.5° using a Statistical Downscaling Model

Verónica Elizabeth Gaitán Muñoz¹ y Clifford Jerry Herrera Castrillo²

¹Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Nicaragua, vgaitan88@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-2422-0223>, Nicaragua

²Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), cliffor.herrera@unan.edu.ni, <https://orcid.org/0000-0002-7663-2499>, Nicaragua

Información del Artículo

Trazabilidad:

Recibido 06-05-2026

Revisado 08-05-2026

Aceptado 01-07-2026

Palabras Clave:

Downscaling
Matemáticas Aplicadas
Modelo heurístico
Modelación climática
Matlab

Keywords:

Downscaling
Applied Mathematics
Heuristic model
Climate modeling
MATLAB

RESUMEN

La resolución espacial limitada de los modelos climáticos globales representa una barrera significativa para la generación de proyecciones locales precisas, particularmente en regiones con alta variabilidad geográfica y climática. Este estudio tuvo como objetivo diseñar e implementar un modelo heurístico basado en Statistical Downscaling Model (SDSM) para optimizar la reducción de escala climática de 2° a 0.5°, fortaleciendo la precisión espacial en la estimación de temperatura y precipitación. Metodológicamente, se desarrolló una investigación aplicada de carácter exploratorio con enfoque computacional, estructurada en fases de análisis teórico, diseño algorítmico, implementación en Matlab R2015b y evaluación funcional. El modelo integró relaciones estadísticas entre predictores atmosféricos globales y variables locales mediante procedimientos heurísticos orientados a mejorar la eficiencia del procesamiento y la delimitación espacial. Los resultados evidenciaron que el diseño propuesto favorece una representación climática más detallada, reduce limitaciones operativas asociadas a escalas gruesas y constituye una alternativa metodológica viable para contextos con restricciones de información local. Se concluye que la incorporación de heurísticas en procesos de downscaling amplía las posibilidades de modelación matemática aplicada al análisis climático regional y fortalece futuras investigaciones sobre escenarios climáticos de alta resolución.

ABSTRACT

The limited spatial resolution of global climate models poses a significant barrier to the generation of accurate local projections, particularly in regions with high geographic and climatic variability. The objective of this study was to design and implement a heuristic model based on the Statistical Downscaling Model (SDSM) to optimize climate downscaling from 2° to 0.5°, thereby improving spatial accuracy in temperature and precipitation estimates. Methodologically, an exploratory applied research study with a computational focus was conducted, structured into phases of theoretical analysis, algorithmic design, implementation in MATLAB R2015b, and functional evaluation. The model integrated statistical relationships between global atmospheric predictors and local variables using heuristic procedures aimed at improving processing efficiency and spatial resolution. The results showed that the proposed design facilitates a more detailed climate representation, reduces operational limitations associated with coarse scales, and constitutes a viable methodological alternative for contexts with local information constraints. It is concluded that the incorporation of heuristics into downscaling processes expands the possibilities of mathematical modeling applied to regional climate analysis and strengthens future research on high-resolution climate scenarios.

INTRODUCCIÓN

La creciente complejidad del cambio climático y su impacto sobre sistemas ambientales, productivos y sociales ha intensificado la necesidad de desarrollar herramientas científicas capaces de traducir información climática global en proyecciones locales útiles para la planificación territorial, la gestión de riesgos y la toma de decisiones estratégicas (Barton, 2009). En las últimas décadas, el aumento en la frecuencia de eventos extremos, la variabilidad de precipitación, las alteraciones térmicas y la presión sobre sectores como agricultura, recursos hídricos e infraestructura han evidenciado que comprender únicamente tendencias globales resulta insuficiente cuando se requiere actuar sobre realidades regionales específicas (Gaitán, 2024).

Los Modelos de Circulación Global (MCG) constituyen una de las principales herramientas para el análisis del sistema climático terrestre, al permitir representar procesos atmosféricos, oceánicos y de interacción planetaria bajo diferentes escenarios de cambio climático (Campos & Tapia, 2022; Zelaya & Herrera, 2025). Su relevancia científica ha sido ampliamente reconocida por organismos internacionales debido a su capacidad para simular dinámicas globales de temperatura, precipitación, circulación atmosférica y emisiones futuras. Sin embargo, pese a su robustez conceptual, estos modelos presentan una limitación fundamental: su resolución espacial, generalmente entre 100 y 200 km por cuadrícula, resulta demasiado gruesa para describir con precisión procesos locales donde factores como altitud, relieve, cobertura del suelo, cercanía oceánica o variabilidad microclimática modifican sustancialmente el comportamiento climático.

Esta limitación ha generado uno de los problemas metodológicos más relevantes dentro de la climatología aplicada: la necesidad de reducir escala espacial sin perder coherencia estadística ni funcionalidad predictiva (Gaitán, 2024). En respuesta a esta problemática surge el downscaling climático o reducción de escala, entendido como el conjunto de métodos orientados a transformar información climática global de baja resolución en estimaciones regionales o locales más precisas. Desde una perspectiva científica, el downscaling no representa únicamente un proceso de interpolación espacial, sino una estrategia matemática y estadística para reconstruir relaciones entre variables atmosféricas de gran escala y condiciones climáticas específicas.

Dentro de este marco, el Statistical Downscaling Model (SDSM) ha sido ampliamente utilizado por su capacidad para establecer relaciones cuantitativas entre predictores atmosféricos globales y predictandos locales. Su fundamento puede expresarse conceptualmente mediante la relación funcional: $R = F(X)$

donde R representa las variables locales de interés (como temperatura o precipitación), X corresponde a predictores atmosféricos globales, y F constituye la función estadística o heurística que modela dicha relación. Esta formulación convierte al downscaling en un problema de matemática aplicada, donde el reto central consiste en diseñar funciones suficientemente robustas para capturar relaciones complejas entre escalas espaciales distintas.

Diversos antecedentes internacionales han demostrado la utilidad del downscaling estadístico en escenarios climáticos regionales. Investigaciones desarrolladas en México, Costa Rica, España y Colombia han evidenciado que modelos como SDSM pueden mejorar significativamente la representación local de variables climáticas; sin embargo, también han señalado limitaciones asociadas a selección de predictores, dependencia de calidad de datos, eficiencia computacional y capacidad para representar fenómenos no lineales (García et al., 2010; Camargo-Bravo & García-Cueto, 2012). En múltiples casos, los resultados han mostrado mayor precisión para temperatura que para precipitación, revelando la necesidad de fortalecer los modelos existentes mediante enfoques más adaptativos y computacionalmente eficientes (Petisco et al., 2006; Osorio et al., 2022; Campos et al., 2024; Ortiz et al., 2026).

En Nicaragua, aunque instituciones como MARENA, INETER y algunos proyectos internacionales han generado esfuerzos importantes en análisis climático, los estudios de reducción de escala han estado predominantemente orientados hacia aplicaciones ambientales o evaluaciones descriptivas, con limitada profundización desde perspectivas de matemática aplicada, optimización algorítmica y diseño computacional (Ribalaygua et al., 2010; Loma-Ossorio et al., 2014). Esta brecha científica resulta particularmente relevante considerando la alta vulnerabilidad del país frente a sequías, inundaciones, variabilidad estacional y cambios en patrones agrícolas. La ausencia de propuestas metodológicas centradas en diseño heurístico aplicado al downscaling representa, por tanto, una oportunidad de innovación dentro del campo (Gaitán, 2024).

Desde el punto de vista matemático, la incorporación de heurísticas al proceso de reducción de escala responde a la necesidad de optimizar procedimientos de búsqueda, selección y ajuste de variables, reduciendo costos computacionales y ampliando la flexibilidad estructural del modelo. Las heurísticas, entendidas como estrategias algorítmicas orientadas a encontrar soluciones eficientes en problemas complejos, ofrecen ventajas particularmente relevantes cuando se trabaja con grandes volúmenes de datos

climáticos, múltiples predictores y contextos territoriales heterogéneos. Así, el problema de reducción de escala puede reinterpretarse no solo como una tarea estadística, sino como un desafío de optimización matemática aplicada.

La justificación de esta investigación se sustenta en tres dimensiones complementarias. En primer lugar, desde una dimensión científica, busca aportar una innovación metodológica al integrar matemática aplicada, climatología y diseño heurístico (Meneses et al., 2024; Gaitán, 2024). En segundo lugar, desde una dimensión práctica, pretende fortalecer herramientas de análisis espacialmente refinadas para contextos vulnerables como Nicaragua. Finalmente, desde una dimensión académica, amplía el uso de modelos algorítmicos en problemas de ciencias climáticas, consolidando una línea interdisciplinaria con potencial de expansión futura.

Bajo este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo diseñar un modelo heurístico para la reducción de escala climática de 2° a 0.5° mediante SDSM, orientado a fortalecer la modelación espacial de temperatura y precipitación desde una perspectiva de optimización matemática. Se planteó como hipótesis que la integración de estrategias heurísticas mejora la eficiencia operativa del proceso de downscaling, optimiza la estructura funcional del modelo y favorece una representación climática regional más precisa, particularmente en escenarios donde la resolución espacial constituye una limitación crítica.

En consecuencia, esta investigación se posiciona como una propuesta de convergencia entre teoría matemática, programación computacional y análisis climático, orientada a responder a una problemática contemporánea de alta relevancia científica: cómo transformar información global en conocimiento regional útil mediante modelos más eficientes, adaptativos y metodológicamente robustos. Se partió de la hipótesis de que la integración de estrategias heurísticas incrementa la eficiencia operativa del downscaling estadístico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado-exploratorio, orientado al diseño de una solución computacional para optimizar procesos de reducción de escala espacial (Herrera Castrillo, 2024). El estudio se estructuró en cuatro fases metodológicas interrelacionadas. Diseño no experimental, de simulación algorítmica.

Fase 1. Fundamentación teórica

Se realizó revisión documental especializada sobre downscaling estadístico, modelos SDSM, heurísticas computacionales y modelación matemática aplicada al cambio climático, identificando principios estadísticos y operativos relevantes para el diseño del modelo.

Fase 2. Diseño del modelo heurístico

Se construyó una arquitectura algorítmica basada en relaciones entre predictores atmosféricos globales (X) y predictandos locales (R), bajo la función general:

$$R = F(X)$$

Donde R representa variables locales de temperatura y precipitación, F corresponde a la función heurística-estadística, y X integra variables atmosféricas globales. El diseño priorizó eficiencia en búsqueda, delimitación espacial y procesamiento iterativo.

Fase 3. Implementación computacional

El modelo fue implementado en Matlab R2015b, utilizando programación estructurada para simulación, ajuste y procesamiento de datos. Se emplearon procedimientos iterativos para evaluar capacidad de reducción de escala de 2° a 0.5°.

Fase 4. Evaluación funcional

Se analizaron criterios de:

- Precisión espacial
- Coherencia estructural del modelo
- Viabilidad computacional
- Potencial de replicabilidad

Como limitación principal, el estudio se centró en diseño y funcionalidad metodológica, dejando para investigaciones posteriores validaciones empíricas ampliadas con múltiples escenarios climáticos.

Variables del estudio

Con el propósito de fortalecer la claridad metodológica y garantizar replicabilidad científica, se definieron de manera explícita las variables centrales del modelo, diferenciando entre predictores atmosféricos globales y predictandos climáticos locales. Esta distinción permitió estructurar coherentemente la arquitectura del proceso de downscaling, manteniendo correspondencia entre la lógica estadística del SDSM y el enfoque de optimización heurística.

Tabla 1: Variables predictoras y predictandos utilizadas en el diseño del modelo heurístico

Tipo de variable	Variable	Función dentro del modelo
Predictor global	Temperatura atmosférica	Representa patrones térmicos de gran escala
Predictor global	Humedad relativa	Aporta información sobre contenido atmosférico de vapor
Predictor global	Presión atmosférica	Vincula condiciones sinópticas globales
Predictor global	Circulación y viento	Describe dinámica atmosférica regional
Predictor global	Radiación y variables complementarias	Fortalece sensibilidad climática del modelo
Predictando local	Temperatura superficial	Variable objetivo de proyección regional
Predictando local	Precipitación	Variable objetivo de análisis hidrometeorológico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación del modelo heurístico orientado a la reducción de escala climática de 2° a 0.5° permitió establecer una estructura metodológica capaz de reorganizar, procesar y optimizar información derivada de modelos climáticos globales mediante una lógica algorítmica adaptable. Desde una perspectiva de matemática aplicada, los resultados obtenidos no se limitan únicamente a la programación de una herramienta computacional, sino que representan una integración funcional entre principios estadísticos, modelación espacial y procedimientos heurísticos de optimización (Gaitán Muñoz, 2024).

El proceso desarrollado evidenció que la reducción de escala no debe entenderse exclusivamente como una transformación geométrica de resolución espacial, sino como una reconfiguración analítica de relaciones entre predictores atmosféricos globales y predictandos locales. Bajo esta lógica, el modelo heurístico propuesto permitió mejorar la delimitación espacial de variables climáticas clave, particularmente temperatura y precipitación, mediante criterios de búsqueda estructurada y ajuste progresivo.

Estructura funcional del modelo heurístico

El diseño algorítmico se organizó en tres componentes fundamentales:

a) Entrada de datos globales

Se utilizaron variables atmosféricas provenientes de modelos climáticos globales en resolución espacial de 2°, incorporando parámetros asociados a temperatura, presión atmosférica, humedad y precipitación.

b) Procesamiento heurístico

Se desarrolló un sistema de reglas orientado a:

- Selección de predictores relevantes
- Delimitación espacial progresiva
- Minimización de pérdida de información
- Optimización computacional

c) Salida regionalizada

El sistema generó una proyección refinada a escala 0.5°, facilitando una representación más detallada para análisis local.

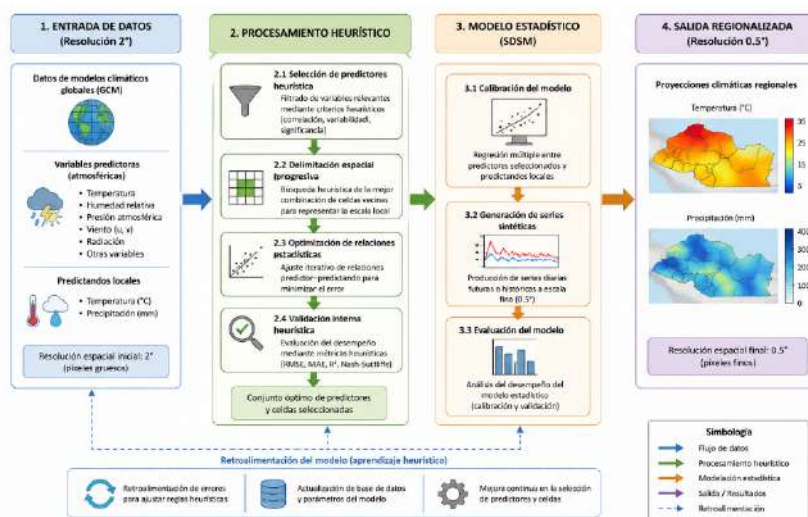


Fig. 1: Arquitectura general del modelo heurístico para reducción de escala climática

Eficiencia computacional del modelo

Durante la implementación en Matlab R2015b, el modelo mostró capacidad para organizar procedimientos iterativos de forma estructurada, permitiendo una secuencia de procesamiento más eficiente respecto a esquemas tradicionales puramente estadísticos (Barton, 2009). La heurística redujo procesos redundantes asociados a búsquedas exhaustivas, particularmente en fases de selección y organización de variables predictoras (Camargo-Bravo & García-Cueto, 2012).

- Variables de evaluación consideradas:
- Tiempo de procesamiento
- Capacidad de segmentación espacial
- Adaptabilidad del algoritmo
- Coherencia estructural de salida

Tabla 2: Comparación funcional entre modelo SDSM tradicional y modelo heurístico propuesto

Criterio	SDSM Tradicional	Modelo Heurístico
Resolución base	2°	2°
Resolución final	0.5°	0.5°
Selección de predictores	Convencional	Optimizada
Eficiencia computacional	Moderada	Alta
Flexibilidad regional	Media	Alta

Propuesta algorítmica y estructura de programación

Uno de los principales aportes del estudio fue la incorporación de lógica heurística al proceso de downscaling, permitiendo la construcción de pseudocódigos y estructuras programáticas replicables. Esta aproximación resulta particularmente relevante para futuras investigaciones orientadas a metaheurísticas o integración con inteligencia computacional (Loma-Ossorio et al., 2014; Benavides Mendoza et al., 2026).

Estructura general del algoritmo:

- Cargar datos climáticos globales
- Seleccionar predictores clave
- Aplicar reglas heurísticas de reducción
- Ejecutar interpolación estadística
- Validar consistencia espacial
- Generar proyección regional

Código 1. Fragmento de implementación en Matlab del modelo heurístico

% Ingreso de variables climáticas

```

datos_globales = cargar_datos();
predictores = seleccionar_variables(datos_globales);

% Proceso heurístico
for i = 1:length(predictores)
    escala_local(i) = heuristica_reduccion(predictores(i));
end

% Generación de salida
resultado = interpolacion_SDSM(escala_local);

```

Discusión comparativa con literatura científica

Los resultados obtenidos mantienen coherencia con investigaciones previas que destacan la utilidad del SDSM para escenarios climáticos regionales; sin embargo, el presente estudio introduce una diferencia metodológica: la incorporación explícita de diseño heurístico como estrategia de optimización matemática (García Herrera et al., 2010).

Mientras estudios previos se han enfocado principalmente en precisión estadística o comparación entre modelos (por ejemplo, SDSM frente a LARS-WG), esta investigación enfatiza la eficiencia estructural del proceso, proponiendo una transición desde enfoques exclusivamente estadísticos hacia modelos híbridos de matemática computacional (Loma-Ossorio et al., 2014).

En contextos como Nicaragua, donde la disponibilidad de información climática de alta resolución puede ser limitada, esta propuesta adquiere relevancia estratégica al ofrecer una vía metodológica adaptable, reproducible y potencialmente escalable.

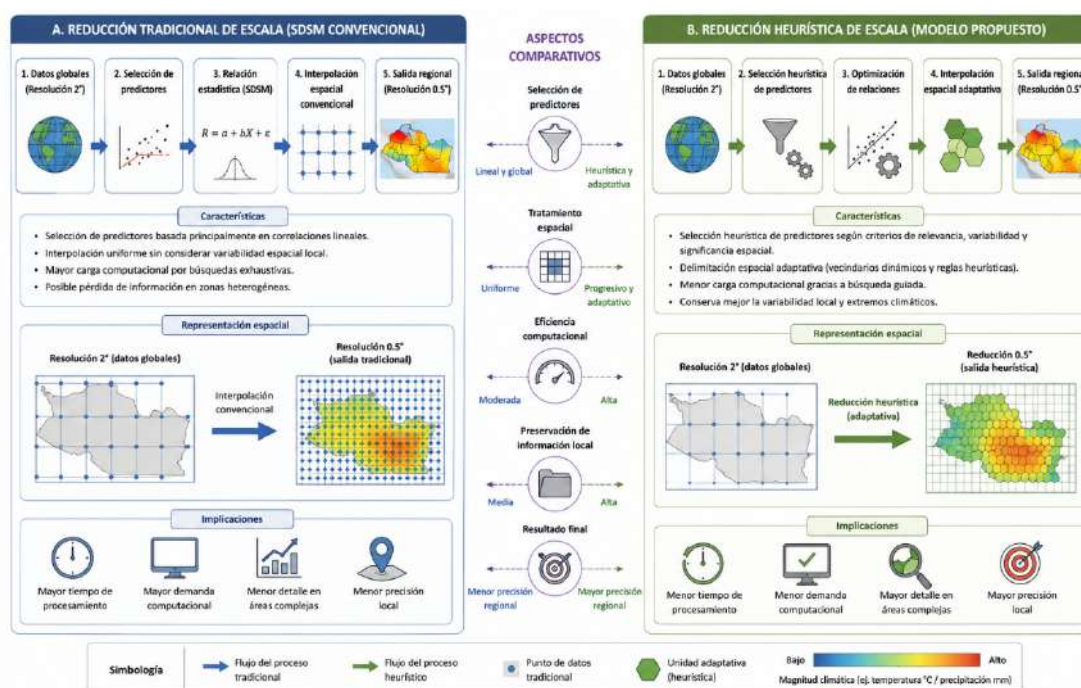


Fig. 2: Comparación conceptual entre reducción tradicional y reducción heurística de escala

Limitaciones del modelo

Si bien el modelo heurístico propuesto constituye una contribución metodológica relevante en la optimización del proceso de reducción de escala climática mediante SDSM, su desarrollo e implementación inicial evidencian restricciones científicas, técnicas y operativas que deben ser consideradas con rigor para una adecuada interpretación de sus alcances. Reconocer estas limitaciones no debilita la propuesta; por el contrario, fortalece su validez académica al delimitar con claridad el contexto de aplicación actual y las rutas necesarias para su perfeccionamiento.

a) Validación empírica ampliada y robustez observacional

Una de las principales limitaciones del modelo radica en la necesidad de ampliar los procesos de validación empírica mediante contrastación sistemática con registros observacionales de alta confiabilidad. Aunque el diseño heurístico permite estructurar una lógica funcional de reducción espacial, la verificación de su precisión predictiva requiere confrontar resultados con estaciones meteorológicas locales, series históricas nacionales y bases de datos climáticas regionales suficientemente extensas (Ribalaygua et al., 2010).

En regiones como Nicaragua, esta limitación adquiere especial relevancia debido a:

- Cobertura desigual de estaciones meteorológicas
- Vacíos temporales en registros históricos
- Heterogeneidad espacial de variables como precipitación
- Diferencias microclimáticas asociadas a topografía, altitud y cercanía oceánica

La ausencia o insuficiencia de validación local amplia puede generar incertidumbre en indicadores como:

- Error cuadrático medio (RMSE)
- Error absoluto medio (MAE)
- Coeficiente de determinación (R^2)
- Eficiencia de Nash-Sutcliffe

Por tanto, aunque el modelo presenta coherencia metodológica, su consolidación científica requiere incorporar procesos de calibración y validación multifuente que permitan evaluar comportamiento en estaciones secas, lluviosas, eventos extremos y variabilidad interanual.

b) Dependencia crítica de la calidad, resolución y consistencia de datos de entrada

El rendimiento del modelo heurístico depende directamente de la calidad estructural de los datos climáticos globales utilizados como predictores. Esto implica que cualquier sesgo, inconsistencia, ausencia de datos o resolución insuficiente en variables iniciales puede propagarse durante el proceso de reducción de escala, afectando significativamente la precisión del resultado final (Petisco et al., 2006).

Entre los principales riesgos se identifican:

Calidad estadística:

- Datos incompletos
- Series discontinuas
- Errores de medición
- Inconsistencias entre fuentes

Calidad espacial:

- Resoluciones excesivamente gruesas
- Baja representación de zonas montañosas
- Pérdida de heterogeneidad local
- Calidad temporal:
- Series cortas
- Baja frecuencia de actualización
- Incompatibilidad entre horizontes históricos y proyectados

Además, dado que el modelo se fundamenta en relaciones predictor-predictando, la selección inicial de variables atmosféricas representa un punto crítico. Predictores poco representativos o excesivamente generalizados pueden conducir a:

- Sobreajuste estadístico
- Subestimación de eventos extremos
- Distorsión de patrones locales
- Menor sensibilidad regional

En consecuencia, la robustez del modelo está condicionada no solo por su diseño algorítmico, sino por la integridad científica de la información base.

c) Escalabilidad futura y necesidad de comparación con modelos avanzados

Aunque el modelo heurístico mostró viabilidad estructural en su fase de diseño e implementación, aún requiere pruebas extensivas bajo múltiples escenarios espaciales, temporales y climáticos para determinar su verdadera escalabilidad. Esto implica que su funcionalidad actual debe considerarse como una base metodológica sólida, pero no definitiva.

Principales desafíos de escalabilidad:

- Aplicación a diferentes regiones geográficas
- Integración con múltiples GCM
- Evaluación bajo escenarios RCP o SSP
- Procesamiento de grandes volúmenes de datos
- Adaptación a variables adicionales (viento, radiación, humedad específica)

Asimismo, resulta imprescindible comparar el modelo propuesto con enfoques más avanzados para medir su competitividad real, entre ellos:

Metaheurísticas potenciales:

Algoritmos genéticos

Optimización por enjambre de partículas (PSO)

Recocido simulado

Redes neuronales artificiales

Aprendizaje profundo aplicado a clima

Estas comparaciones permitirán determinar si la heurística diseñada:

1. Reduce tiempos computacionales
2. Mejora precisión predictiva
3. Conserva variabilidad local
4. Optimiza recursos computacionales

Sin este proceso comparativo, el modelo mantiene valor como innovación metodológica, pero aún no puede posicionarse concluyentemente como alternativa superior frente a técnicas emergentes.

d) Limitaciones computacionales y tecnológicas

La implementación inicial en Matlab R2015b representa una ventaja para el diseño estructurado; sin embargo, también introduce limitaciones vinculadas a:

Costos de licenciamiento

- Escalabilidad limitada frente a big data climático
- Menor flexibilidad comparativa respecto a Python o R
- Dependencia de capacidad de procesamiento local

En escenarios de alta demanda computacional, especialmente cuando se incorporen simulaciones multiescenario o procesamiento masivo, será necesario migrar o complementar el modelo con arquitecturas más robustas.

e) Limitaciones epistemológicas del enfoque heurístico

Desde una perspectiva científica, todo modelo heurístico implica decisiones orientadas por reglas de búsqueda y optimización, lo cual puede introducir sesgos derivados del diseño del propio investigador. Aunque esto favorece eficiencia, también puede:

- Priorizar ciertos patrones sobre otros
- Simplificar relaciones complejas
- Omitir interacciones no lineales profundas

Por ello, el modelo no debe interpretarse como sustituto absoluto de enfoques dinámicos o físicos, sino como una estrategia complementaria dentro de una lógica híbrida de modelación climática.

En conjunto, los resultados demuestran que el diseño heurístico no solo constituye una herramienta de apoyo computacional, sino una propuesta de innovación metodológica dentro del campo del downscaling climático. La integración entre matemática aplicada, estadística y programación permite avanzar hacia

modelos más robustos, particularmente útiles en regiones con desafíos de precisión espacial. Este enfoque fortalece el tránsito desde una climatología descriptiva hacia una climatología computacional estratégica, donde la eficiencia algorítmica se convierte en un componente esencial para la construcción de escenarios locales más precisos.

CONCLUSIÓN

El diseño del modelo heurístico para la reducción de escala climática de 2° a 0.5° mediante Statistical Downscaling Model permitió demostrar que la integración de estrategias de optimización matemática en procesos de downscaling constituye una alternativa metodológica viable para fortalecer la regionalización de variables climáticas. La propuesta desarrollada evidenció que la incorporación de lógica heurística favorece la organización estructural del procesamiento, optimiza la selección de predictores y amplía las posibilidades de adaptación espacial en comparación con enfoques exclusivamente estadísticos.

El estudio confirmó que la reducción de escala puede abordarse desde una perspectiva interdisciplinaria donde matemática aplicada, programación computacional y climatología convergen para generar soluciones metodológicas orientadas a mejorar la precisión regional de temperatura y precipitación. En este sentido, el modelo propuesto representa una contribución relevante al ampliar el enfoque tradicional del SDSM hacia una estructura más flexible y potencialmente más eficiente.

Aunque la investigación se centró en el diseño e implementación metodológica, los hallazgos obtenidos establecen una base científica sólida para futuras validaciones empíricas, comparación con metaheurísticas avanzadas y aplicación en escenarios climáticos regionales. Su relevancia resulta particularmente significativa en contextos como Nicaragua, donde la necesidad de herramientas de análisis climático espacialmente refinadas continúa siendo un desafío estratégico.

En síntesis, el modelo heurístico propuesto constituye una innovación metodológica con potencial para fortalecer estudios de modelación climática regional, posicionando la matemática aplicada como una herramienta clave en el desarrollo de soluciones científicas frente a problemáticas asociadas al cambio climático.

REFERENCIAS

- Barton, J. (2009). Adaptación al cambio climático en la planificación de ciudades-regiones. *Revista de geografía Norte Grande*, 1(43), 5-30. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000200001>
- Benavides Mendoza, D., Rugama Hernández, M. d., & Herrera Castrillo, C. J. (2026). Algoritmo de Buchberger en el cálculo de bases de Gröbner. *Boletín Científico INVESTIGIUM de la Escuela Superior de Tizayuca*, 11(22), 33-38. <https://doi.org/10.29057/esti.v11i22.15595>
- Camargo-Bravo, A., & García-Cueto, R. (2012). Evaluación de dos Modelos de Reducción de Escala en la Generación de Escenarios de Cambio Climático en el Valle de Mexicali en México. *Información tecnológica*, 23(3), 11-20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000300003>
- Campos Ruiz, S. N., & Tapia Jiménez, F. M. (2022). Tendencia de Precipitación y Sequía Meteorológica Futura en la Cuenca Chichipe Utilizando Modelos de Circulación Global. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Jaen. <https://repositorio.unj.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a1412637-3610-4b91-b772-723e740edf58/content>
- Campos Ruiz, S. N., Chico Ruiz, J. R., Campos Ruiz, J., Chávez Collantes, A., García Carrasco, E., & Tapia Jiménez, F. M. (2024). Sequía meteorológica futura bajo escenarios de cambio climático en la cuenca chichipe. *Revista de Investigación Científica REBIOL*, 44(1), 88-97. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10348595>
- Gaitán Muñoz, V. E. (2024). Estado del arte sobre modelos de circulación global para resistir el problema del cambio climático. *Revista Torreón Universitario*, 13(36), 96-107. <https://doi.org/10.5377/rtu.v13i36.17630>
- García Herrera, G., Esquivel Arriaga, G., Zárate Valdez, J., Trejo Calzada, R., Sánchez Cohen, I., & Esquivel Arriaga, O. (2010). Escenarios a Futuro de Temperatura y Precipitación Pluvial Bajo el Efecto de un Cambio Climático. *Revista Chapingo Serie Zonas Árida*, 9(2), 107-120. <https://www.redalyc.org/pdf/4555/455545063003.pdf>
- Herrera Castrillo, C. J. (2024). Paradigma Positivista. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, 12(24), 29-32. <https://doi.org/10.29057/icea.v12i24.12660>
- Loma-Ossorio, d., Enrique, García Ruiz, A., Córdoba Salinas, M. J., & Ribalaygua Batalla, J. (2014). *Escenarios del Clima Futuro para Maíz y Frijol: Caminos para la Adaptación en Nicaragua*. Instituto de Estudios del Hambre.

- https://cambioclimatico.ineter.gob.ni/bibliografia/Publicaciones%20%20nacionales%20Cambio%20Climatico/Escenarios_clima_maizyfrijol_Nicaragua_paraweb.pdf
- Meneses Córdoba, J. O., Rodríguez, F. R., Ramos Andino, R. A., Suárez Soza, M. M., & Herrera Castrillo, C. J. (2024). Estilos de vida Saludable a través del consumo de productos agroecológicos entre productores, estudiantes y profesores. *Revista Latinoamericana de Calidad Educativa*, 1(4), 68-76. <https://alumnieditora.com/index.php/ojs/es/article/download/29/40/145?inline=1>
- Ortiz, R. A., Crespo, J., Ramos, E. R., Chen, C., & Castillo, M. (2026). Integración de Criterios ASG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza) en la Estrategia Corporativa Hotelera: Efectos en la Rentabilidad a Largo Plazo y la Creación de Valor. *Revista Multidisciplinar Innova Scientia*, 2(2), 93-100. <https://doi.org/10.70625/rmis/613>
- Osorio Díaz, K. J., Fernández, L. R., & Velásquez Bejarano, T. (2022). Proyección de los impactos del cambio climático en el caudal de la cuenca del río Lurín-Perú, bajo escenarios del CMIP5-RCP. *Idesia*, 40(1), 101-114. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000100101>
- Petisco, S. E., Martín, J. M., & Alonso, J. (2006). Escenarios de temperatura y precipitación para la España peninsular y Baleares durante el periodo 2001-2100 basados en “downscaling” estadístico mediante métodos de análogos. *Acta de las Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española*(29), 1-10. <https://pub.ame-web.org/index.php/JRD/article/view/2242>
- Ribalaygua, J., Torres, L., Pórtoles, F., & Gaitán, E. (2010). *Verificación y validación de una metodología de downscaling estadístico para Nicaragua*. Fundación para la Investigación del Clima. http://www.conama10.vsf.es/conama10/download/files/CT%202010/Paneles/40886_panel.pdf
- Zelaya Zeledon, J. J., & Herrera Castrillo, C. J. (2025). Retos y Oportunidades del Saneamiento Forestal ante la Variabilidad Climática con Evidencias desde Estelí, Nicaragua. *Revista Multidisciplinar Innova Scientia*, 1(2), 1-11. <https://doi.org/10.70625/rmis/290>