

Análisis de datos con el arreglo de diferencias finitas en el contexto de la Crisis Climática Global

Víctor Rogelio Tirado Picado¹

victornica2001@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-7907-0006>

Dirección de Investigación y Extensión Universitaria,
Universidad Americana (UAM),
Managua, Nicaragua

RESUMEN

El objetivo principal del estudio, se basó en el análisis de datos con el arreglo de diferencias finitas en el contexto de la crisis climática global, se hizo uso de los principales datos climatológicos muy relevantes como la Oscilación del Atlántico Norte, Índice Oceánico del Niño, precipitación y temperatura, seguidamente, se implementó el Método de Diferencias Finitas (MDF) modelado en un escenario climatológico, y se revisó su comportamiento en términos de alerta global, para los cuatros variables se manifestó una inestabilidad térmica muy crítica evidenciando, la variabilidad de la NAO y el ONI; el dominio del déficit de precipitación, y el dominio de las altas temperaturas, de las tablas 1, 2, 3, y 4, la prevalencia del color rojo en una buena región, indica un escenario climático muy crítico, alertándonos se debe de proceder de manera acelerada con estrategias para enfrentar las embestidas de la crisis climática global, finalmente se valoró la importancia del Método de diferencia finitas para analizar la situación climatológica global en el contexto de la crisis climática actual, la metodología de diferencia finitas, es una herramienta poderosa para el tratamiento de variables medidas, mismo que describe la alerta en tiempo real, reflexionando de la situación climática de hoy.

Palabras Claves: *diferencias finitas; crisis climática; precipitación; índice climático; temperatura.*

¹ Autor Principal

Data analysis with the Finite Difference array in the context of the Global Climate Crisis

ABSTRACT

The main objective of the study was based on the analysis of data with the finite difference arrangement in the context of the global climate crisis, using the main highly relevant climatological data such as the North Atlantic Oscillation, El Niño Oceanic Index, precipitation and temperature, then the Finite Difference Method (MDF) modeled in a climatological scenario was implemented, and its behavior was reviewed in terms of global alert, for the four variables a very critical thermal instability was manifested, evidencing the variability of the NAO and the ONI; the dominance of the precipitation deficit, and the dominance of high temperatures, from tables 1, 2, 3, and 4, the prevalence of red color in a good region, indicates a very critical climatic scenario, warning us that we must proceed from accelerated way with strategies to face the onslaught of the global climate crisis, finally the importance of the Finite Difference Method was valued to analyze the global climatological situation in the context of the current climate crisis, the finite difference methodology is a powerful tool for the treatment of measured variables, which describes the alert in real time, reflecting on today's climate situation.

Keywords: *finite differences; climate crisis; precipitation; climate index; temperature.*

Artículo recibido 26 junio 2023

Aceptado para publicación: 26 julio 2023

INTRODUCCIÓN

El clima, una paradoja cambiante, a veces a favor, y a veces en contra, no importa como sea, la verdad es, si no implementamos acciones armonizantes, jamás estaremos en paz con nuestra madre Tierra.

Sin embargo, el mando de datos para la estimación de los diferentes elementos climatológicos, su estudio y manejo, no es suficiente como para mitigar el impacto feroz de nuestro clima. Existen algunos métodos de modelamiento que concluyen con recomendaciones y reflexiones por acciones por el clima.

Como lo manifiesta (Sandoval-Ruiz, 2019), que existen dos grandes familias de método numéricos: los métodos de elementos finitos y los métodos en diferencias finitas (Quintana, 2016). Este último ha sido considerado en la investigación de (Sandoval-Ruiz, 2019), como una solución alternativa para la estimación de recursos de modelos en VHDL (Very High Speed Integrates Circuit Harware), por otro lado (Olivera D., 2020) formulo modelos matemáticos con los correspondientes algoritmos computacionales para el proceso de la ingeniería biomédica tales como la liberación de medicamentos antiglaucómicos a partir de lentes de contactos, de igual manera (Olivera D., 2020) le da tratamiento las diferencias finitas en simulaciones computacional en radio inmunoterapéutico de melanomas metastásicos y el calculo de tiempos de congelación de un mezquino.

Tal es el caso del Método de Diferencia Finitas (MDF), de acuerdo a (Azpiroz Yoldi, 1962) manifiesta que una Ciencia Natural es exacta cuando admite tratamiento matemático, es decir, cuando su principal problema se puede formular en ecuaciones, y a veces tener solución con recursos suministrados por las Matemáticas. En este sentido, por el autor (Azpiroz Yoldi, 1962) escribe que la idea básica del calculo con diferencias finitas en aproximaciones, se hacen con derivadas que figuran en fórmulas matemáticas por expresiones, en esas diferencias que contengan los valores de las funciones en conjuntos discretos de puntos, y en entorno más o menos amplios de aquel en que se considera la derivada.

Otra aplicación, es la demostrada en el trabajo de Modelización de la ecuación de calor con diferencias finitas desarrollado por el autor (García Faria, 2017), define que el método de diferencias

finitas trata de crear una aproximación de la temperatura para un punto determinado en un tiempo determinado, es decir, para todo el dominio espacio-temporal. Se parte de la relación diferencial $u_t = k^2 \Delta u + g(u, t)$ y una serie de condiciones de entorno que acotarán el número de soluciones. Como se comprobará de acuerdo a (García Faria, 2017), el método de diferencias finitas es un método en su conjunto bastante intuitivo, pero a la vez con resultados positivos en escenarios similares a los que se presentan en el trabajo desarrollado por (García Faria, 2017).

En otra instancia, estudios como el “Análisis Termomecánico de un reactor mediante el Método de Diferencias Finitas y su Verificación a partir del Método de los Elementos Finitos”, escrito por (Cangelosi & Sanzi, 2022) concluyeron con una metodología de análisis a partir del planteo de las ecuaciones diferenciales, y transferencia de calor por conducción y convección resueltas por el Método de Diferencias Finitas, que determinaba la distribución térmica y el estado tensional sobre las paredes cilíndricas de un reactor de baja potencias para su uso en investigación científica. Este método fue resuelto a partir de la elaboración de un programa computacional específico.

El objetivo principal del presente estudio, es el análisis de datos con el arreglo de diferencias finitas en el contexto de la crisis climática global, para ello se harán uso de los principales datos climatológicos muy relevantes que están llevando a la ebullición global, seguidamente, se hará uso del Método de Diferencias Finitas modelado en un escenario climatológico, revisando su comportamiento en términos de alerta global, y finalmente valorar la importancia del Método de diferencia finitas para analizar la situación climatológica global en el contexto de la crisis climática actual.

Para comprobar lo anteriormente descrito, se hace la siguiente pregunta, la implementación y modelamiento del método de diferencia finita ¿será capaz de contextualizar la situación actual a partir de los datos climáticos seleccionados?

METODOLOGÍA

Tipo de Investigación

El presente trabajo fue diseñado bajo el enfoque metodológico del enfoque cuantitativo, ya que este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la presente investigación.

El enfoque cuantitativo utiliza la recopilación y el análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis previamente establecidas, y se traduce en:

“la secuencial y probatoria. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos "saltar" o evitar pasos. El orden es riguroso, aunque claro, podemos redefinir alguna fase. Se parte de una idea que se va delimitando y, una vez definida, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco teórico o perspectiva. A partir de las preguntas se establecen hipótesis y se determinan variables; se elabora un plan para probarlos (diseño); las variables se miden en un determinado contexto; se analizan las medidas obtenidas por métodos estadísticos y se extraen una serie de conclusiones sobre la hipótesis o hipótesis”. (Sampieri, Fernández Collado, & Baptista, 2014. Pág. 5).

La técnica de observación se tomó del enfoque cuantitativo, la información de la base de datos se recopila y se puede cuantificar. La recolección de datos se realiza a través de la observación cuantitativa, ya que permite cuantificar el comportamiento de los factores climatológicos globales.

Tiempo de Ejecución

En el desarrollo del trabajo de investigación se contó con tres meses, de los cuales un mes para obtener los datos climatológicos globales de 1960 a 2021, un mes para procesar los datos de diferentes sitios de interés de estudio. a nivel regional, y un mes para obtener y redactar el informe final, en el período de julio a agosto de 2023.

Técnicas y Métodos de Recolección de Datos

Al descargar datos meteorológicos y climáticos globales de alta resolución de variables climáticas, para mapear utilizando el modelo espacial WorldClim. Los datos se utilizan para el mapeo y el

modelado espacial. Dado que los datos se proporcionan para su uso en la investigación y actividades relacionadas.

Mediante la obtención de datos climáticos de la base de datos del INETER.

Mediante la obtención de datos climáticos de la base de datos del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica.

Mediante la obtención de datos climáticos de la base de datos del Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos.

Mediante la obtención de datos climáticos de la base de datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Se utilizará Microsoft Excel, ya que reúne las condiciones para aplicar el método de diferencias finitas para este estudio.

Fuentes Primarias

Portal WorldClim, datos climáticos y meteorológicos globales: datos climáticos históricos, datos meteorológicos mensuales históricos.

Portal del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, datos históricos climáticos mensual.

Portal del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, datos históricos climáticos mensual.

Portal del Centro de Estudios Atmosféricos, Oceanográficos y Sísmicos de Honduras, datos históricos climáticos.

Portal de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de los EEUU

Fuentes Secundarias

Artículos científicos relacionados con el uso de métodos de diferencias finitas.

Bibliografía relacionada con métodos numéricos, en especial con las diferencias finitas y sus aplicaciones.

Biblioteca del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales de Nicaragua (INETER), departamento de meteorología.

Portal web de bibliografías electrónicas relacionadas con el método numérico diferencias finitas.

Universo

Datos históricos climáticos globales (DHCG), provenientes de base de datos de diferentes partes de la Tierra.

Muestra

Serán los datos históricos que presentan variabilidad climática como el índice atmosférico de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), el índice atmosférico Niño/ Oscilación del Sur (ENSO), datos de precipitación históricas y globales de WorldClim de la región centroamericana, datos de temperatura históricas y globales de WorldClim de la región centroamericana.

Criterios de Inclusión

Se tratarán los datos históricos globales del índice atmosférico de la NAO y el ENSO, así como también de datos históricos globales de precipitación y temperatura generados a partir de los formatos rásters de WorlClim, en un periodo de 1960 al 2022.

Criterios de Exclusión

No serán tratados aquellos datos históricos que no estén contemplados como índice atmosférico de la NAO y el ENSO, así como también, no serán tratados aquellos datos históricos globales de precipitación y temperatura generados de los formatos rásters de WorldClim en la región centroamericana, y que no estén comprendidos en el periodo 1960 y 2022.

ASPECTOS TEÓRICOS

Primeramente, es importante definir el termino Diferencias Finitas, de acuerdo con los autores (Lara Romero, Chávez Aliaga, & Castañeda Vergara, 2019), definen el método de diferencias finitas (MDF) como un método de carácter general que permite la resolución aproximada de ecuaciones diferenciales definidas en dominios finitos. De acuerdo a (Lara Romero, Chávez Aliaga, & Castañeda Vergara, 2019), probablemente es uno de los primeros métodos numéricos utilizados en la resolución de problemas en dinámica de fluidos y transferencia de calor, así como en problemas electromagnéticos; (Lara Romero, Chávez Aliaga, & Castañeda Vergara, 2019) también manifiestan que existen documentación en la que se menciona que Gauss utilizó este método.

Por otro lado, de acuerdo a (Llopis, 2023) recuperado de la web matesfacil.com, define al método de diferencias finitas como ecuaciones cuyas incógnitas son sucesiones, es decir, es una relación que cumplen términos de una o varias sucesiones, con lo que su solución serán sucesiones.

Hay, muchas definiciones del método de diferencias finitas como la planteado por (Chapra & Canale, 2011), donde toman como referencia la ecuación de Laplace, se utiliza para modelar diversos problemas que tienen que ver con el potencial de una variable desconocida.

En concordancia con (Chapra & Canale, 2011), (de Greiff Bravo, 1955), desarrollo procedimientos polinómicos utilizando el método diferencia finitas, (Martinez, M, 1995), presentan un estudio de esquemas en diferencias finitas para le resolución numérica de sistemas hiperbólicos de leyes de conservación, aplicados al caso de las ecuaciones que gobiernan el flujo en conductos de admisión y escapes de motores, (Martinez, M, 1995) también dedujo el rango de variación de los parámetros que intervienen en la definición de las técnicas de corrección de flujos para que estas verifiquen la propiedad (TVD).

Considerando la aplicabilidad del método de diferencias finitas, se pondrá en practica para el modelamiento de los factores climatológicos que están en constante variación, y de esta manera estudiarlos en cuanto a su comportamiento. Se sigue el modelado de una malla finita y luego la secuencia interactiva.

La teoría de diferencia finitas, esta fundamentada en lo que establece (Leal, Celedón, Vides L, & Gómez J, 2003), (Picado, 2020), y (Picado, Precipitation forescat model for hydrological units using artificial neural networks (ANN), 2019), y lo que a continuación se detalla en (Chapra & Canale, 2011).

(Chapra & Canale, 2011), plantea que las soluciones numéricas de la ecuación de Laplace se tienen sistemas que son mucho más grandes de lo normal. Por ejemplo, para una malla de 10 x 10 se tienen 100 ecuaciones algebraicas lineales. (Chapra & Canale, 2011) describe que el método de aproximación representa un mejor procedimiento para obtener soluciones de ecuaciones diferenciales finitas elípticas. Esta técnica se expresa como sigue la ecuación 1.

$$T_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1}}{4} \text{ ecuación 1}$$

Se resuelve de manera interactiva para $j=1$ hasta n e $i=1$ hasta m . Como dicta una ecuación diagonal a partir de la construcción de la matriz, el procedimiento al final convergerá a una solución estable. Algunas veces se utiliza la sobrerrelajación para acelerar la velocidad de la convergencia, aplicando la siguiente ecuación 2 después de cada interacción.

$$T_{i,j}^{nuevo} = \lambda T_{i,j}^{nuevo} + (1 - \lambda) T_{i,j}^{anterior} \text{ ecuación 2}$$

Donde $T_{i,j}^{nuevo}$ y $T_{i,j}^{anterior}$ son los valores de $T_{i,j}$ de la actual interacción y de la previa respectivamente: λ es un factor de ponderación que esta entre 1 y 2.

Como el método convencional de Gauss-Seidel, las iteraciones se repiten hasta que los valores absolutos de todos los errores relativos porcentuales $(\varepsilon_a)_{i,j}$ están por debajo de un criterio preespecificado de terminación ε_s . Dichos errores relativos porcentuales se estiman mediante la siguiente ecuación 3:

$$|(\varepsilon_a)_{i,j}| = \left| \frac{T_{i,j}^{nuevo} - T_{i,j}^{anterior}}{T_{i,j}^{nuevo}} \right| * 100\% \text{ ecuación 3}$$

A continuación, se presenta un ejemplo de malla bidimensional organizada para implementar el método de diferencia finita ver figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la aplicación de la metodología diferencias finitas, se generaron mallas de 12x63 para la variable oscilación del atlántico norte, 12x56 para la variable índice oceánico del niño, 12x63 para la variable de precipitación, y 12x60 para variable de la temperatura.

La variabilidad térmica de la condición de oscilación del atlántico norte de acuerdo a la tabla 1, se observa discontinuidad en esa parte de la región de la tierra, influye en zonas que se encuentran mucho más allá de su área directa de acción, como son las aguas tropicales de la india y el océano Pacífico, comprobándose lo establecido por (Sánchez-Santillan, Signoret-Poillon, & Garduño-López, 2006)

como un fenómeno atmosférico de ocurrencia periódica y que está directamente correlacional con los gases de efecto invernaderos.

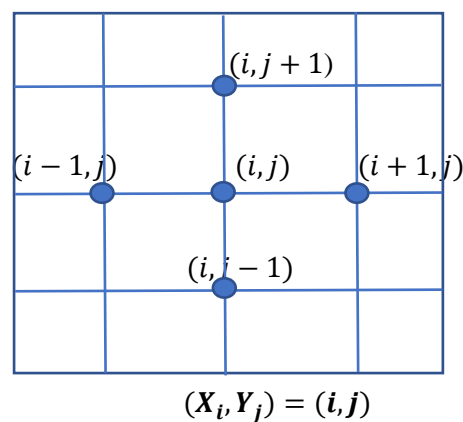
Con relación a la variabilidad térmica del índice oceánico del niño, de acuerdo a la tabla 2, se observa discontinuidad en los ciclos climáticos irregulares que se produce por la interacción entre el océano y la atmosférica según la (Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología (CONICIT) de Venezuela, 1998), se evidencia una gran región critica de color rojo, lo que expone la incidencia directa del calentamiento global en la variación del índice ONI.

Seguidamente, se tiene la variabilidad térmica de la variable precipitación, de acuerdo a la tabla 3, se observa discontinuidad en el comportamiento de la variable, y una región critica de baja precipitación que está estrechamente correlacionado con el índice atmosférico de la NAO y el ONI, ocurrente en la región centroamericana, esta baja critica de precipitación forma parte de los efectos productos de la Crisis Climática.

En cuanto a la variabilidad térmica de la variable temperatura, de acuerdo a la tabla 4, se observa discontinuidad en el comportamiento espacial de la variable, esto significa que hay una región critica de altas temperaturas que se han generados producto de la crisis climática, de igual forma, está estrechamente correlacionado con los índices atmosférico NAO y ONI

TABLAS, FIGURAS

Figura 1. *Representación gráfica de una malla bidimensional*



Nota: retomado de (Chapra & Canale, 2011)

La primera variable climatológica es el índice atmosférico de la Oscilación del Atlántico Norte. Se

hace uso de Excel para modelar las mallas bidimensionales y se aplica la ecuación 1, ver tabla 1.

Tabla 1.

Resultado de la aplicación del MDF, para datos de índice atmosférico NOA.

		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		4.085	4.02	3.77	3.34	3.25	4.04	3.39	3.67	4.11	4.12	3.344	99.99
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.08	-	3.60	3.55	3.45	3.48	3.75	3.81	4.24	5.15	7.11	12.58	30.94	0.30
3	3.466	1	9	1	7	2	5	1	3	1	1	5	3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.15	-	3.35	3.40	3.41	3.48	3.65	3.87	4.32	5.14	6.58	-	10.90	1.05
4	3.094	6	9	7	6	6	6	4	5	2	8.924	6	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.77	-	3.32	3.30	3.32	3.38	3.51	3.70	4.03	4.52	5.14	-	-	0.12
6	3.399	0	5	0	4	1	9	4	2	9	5.628	4.809	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.08	-	3.22	3.17	3.17	3.21	3.29	3.41	3.57	3.76	3.86	-	-	0.38
5	3.406	0	2	6	7	7	6	9	2	4	3.628	2.572	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.46	-	2.98	2.98	2.99	3.01	3.04	3.07	3.10	3.08	2.91	-	-	0.23
3	2.920	1	6	4	3	3	9	6	1	6	2.450	1.464	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.02	-	2.79	2.79	2.80	2.79	2.78	2.75	2.68	2.54	2.26	-	-	0.23
7	2.831	8	8	0	7	4	2	4	2	9	1.792	1.070	3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.89	-	2.58	2.60	2.61	2.59	2.54	2.46	2.33	2.13	1.82	-	-	0.21
3	2.580	2	9	3	1	3	3	4	4	6	1.378	0.793	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.90	-	2.34	2.44	2.45	2.41	2.33	2.22	2.05	1.83	1.52	-	-	0.56
6	2.013	3	2	1	2	5	0	8	2	3	1.103	0.505	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.00	-	2.33	2.36	2.33	2.26	2.16	2.02	1.84	1.61	1.33	-	-	0.61
1	2.223	5	4	7	9	6	6	5	5	2	1.004	0.685	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.16	-	2.40	2.34	2.26	2.16	2.03	1.87	1.67	1.45	1.18	-	-	-
4	2.544	9	2	5	2	2	2	9	0	6	0.896	0.614	-0.44
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1.78	-	2.41	2.33	2.21	2.08	1.92	1.75	1.55	1.32	1.06	-	-	-
-	2.378	4	1	7	2	9	2	0	1	5	0.780	0.433	0.18
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.15	-	2.53	2.35	2.18	2.02	1.84	1.65	1.44	1.21	0.97	-	-	0.55
2	2.776	7	3	7	2	7	7	7	9	4	0.726	0.520	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.11	-	2.60	2.35	2.15	1.97	1.78	1.57	1.36	1.13	0.88	-	-	0.04
4	3.037	6	5	7	1	1	9	4	2	6	0.629	0.365	4

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.60	-	2.49	2.30	2.11	1.92	1.72	1.51	1.29	1.06	0.80	-	-	0.08
6	2.651	2	5	5	3	5	6	5	0	8	0.540	0.268	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.29	-	2.40	2.25	2.07	1.88	1.67	1.46	1.24	1.00	0.74	-	-	0.59
7	2.470	7	6	5	1	7	5	1	3	6	0.455	0.077	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.42	-	2.40	2.23	2.04	1.84	1.63	1.42	1.19	0.96	0.71	-	-	0.05
3	2.525	9	8	7	7	9	3	9	4	7	0.455	0.182	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.62	-	2.46	2.23	2.02	1.81	1.60	1.39	1.16	0.93	0.70	-	-	0.06
9	2.798	6	7	7	9	7	0	7	7	2	0.467	0.248	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.36	-	2.42	2.21	2.00	1.79	1.58	1.36	1.14	0.91	0.68	-	-	0.21
	2.570	1	6	5	3	0	2	0	4	6	0.464	0.272	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.12	-	2.43	2.19	1.98	1.76	1.55	1.33	1.11	0.89	0.66	-	-	0.20
	2.702	0	9	2	9	5	8	7	2	4	0.429	0.167	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.21	-	2.39	2.16	1.95	1.74	1.53	1.31	1.09	0.87	0.64	-	-	0.18
7	2.688	7	7	4	3	1	5	6	3	8	0.420	0.172	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.26	-	2.30	2.11	1.92	1.71	1.51	1.29	1.07	0.85	0.63	-	-	0.37
4	2.434	2	8	1	9	0	5	7	5	5	0.431	0.289	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.03	-	2.25	2.07	1.89	1.69	1.49	1.27	1.05	0.83	0.60	-	-	0.09
6	2.481	9	9	4	8	2	9	9	4	5	0.379	0.178	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-1.86	-	2.17	2.04	1.87	1.68	1.48	1.26	1.04	0.81	0.57	-	-	0.66
	2.194	2	6	6	5	1	7	5	4	1	0.301	0.047	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.28	-	2.18	2.05	1.87	1.68	1.47	1.26	1.03	0.80	0.56	-	-	0.34
1	2.262	9	3	9	5	7	1	8	7	4	0.301	0.000	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.34	-	2.26	2.09	1.90	1.69	1.48	1.26	1.03	0.80	0.57	-	-	0.25
4	2.384	8	6	1	5	1	2	8	9	7	0.339	0.085	7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.86	-	2.40	2.16	1.93	1.71	1.48	1.26	1.04	0.81	0.59	-	-	0.46
9	2.662	3	1	3	1	9	5	0	5	4	0.391	0.260	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.02	-	2.51	2.21	1.95	1.72	1.49	1.26	1.04	0.81	0.59	-	-	0.55
3	2.992	9	1	8	4	6	9	1	4	2	0.370	0.094	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.99	-	2.46	2.20	1.96	1.73	1.50	1.27	1.03	0.80	0.59	-	-	0.50
	2.762	8	4	2	1	1	1	9	9	0	0.401	0.303	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.74	-	2.38	2.17	1.95	1.73	1.50	1.27	1.03	0.79	0.55	-	-	0.31
7	2.599	8	2	5	3	6	2	3	2	6	0.342	0.209	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.97	-	2.31	2.14	1.95	1.74	1.51	1.27	1.02	0.77	0.49	-	-	0.56
2	2.499	1	1	0	0	5	8	9	0	7	0.204	0.130	6

-1.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.22
8	2.112	2.21	2.12	1.96	1.76	1.53	1.29	1.03	0.75	0.45	-	0.368	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.76	-	2.30	2.19	2.01	1.80	1.56	1.32	1.05	0.77	0.46	-	-	0.33
8	2.255	5	4	6	3	9	1	6	4	7	0.128	0.218	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.33	-	2.55	2.32	2.10	1.86	1.61	1.36	1.09	0.81	0.50	-	-	1.10
4	2.833	5	7	0	4	8	2	5	3	7	0.158	0.293	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.12	-	2.75	2.45	2.19	1.93	1.67	1.41	1.14	0.87	0.58	-	-	0.12
9	3.187	6	7	1	4	6	5	8	4	9	0.289	0.008	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.85	-	2.82	2.55	2.27	2.00	1.73	1.47	1.20	0.94	0.68	-	-	0.50
2	3.029	5	2	4	2	5	0	8	6	5	0.417	0.098	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.35	-	2.96	2.65	2.35	2.06	1.79	1.52	1.26	1.01	0.78	-	-	-
9	3.251	2	0	0	5	0	3	5	7	7	0.595	0.489	-0.61
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.70	-	3.11	2.73	2.41	2.11	1.83	1.56	1.31	1.06	0.85	-	-	-
4	3.655	9	6	1	5	5	7	0	8	0	0.686	0.655	-1.01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.04	-	3.12	2.76	2.44	2.14	1.86	1.59	1.34	1.09	0.86	-	-	0.17
9	3.545	3	4	3	7	6	8	1	4	0	0.642	0.435	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.47	-	3.06	2.75	2.45	2.16	1.88	1.61	1.35	1.10	0.85	-	-	0.25
9	3.352	3	2	0	1	5	8	9	6	3	0.588	0.265	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.67	-	3.02	2.73	2.44	2.16	1.89	1.62	1.37	1.11	0.85	-	-	0.04
1	3.322	5	0	2	3	2	9	1	6	9	0.590	0.291	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.34	-	2.98	2.70	2.42	2.15	1.89	1.63	1.38	1.12	0.87	-	-	0.03
3	3.240	2	1	4	4	1	4	0	8	6	0.621	0.355	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.83	-	2.96	2.66	2.39	2.13	1.88	1.63	1.38	1.13	0.89	-	-	0.45
5	3.312	2	9	8	8	4	4	6	9	6	0.662	0.469	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.57	-	2.88	2.61	2.35	2.11	1.87	1.63	1.38	1.14	0.90	-	-	0.04
9	3.208	6	2	9	4	2	0	9	7	5	0.661	0.404	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.68	-	2.76	2.53	2.31	2.08	1.85	1.62	1.39	1.15	0.91	-	-	0.30
1	3.057	2	3	2	7	8	6	1	4	5	0.674	0.444	3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.17	-	2.57	2.44	2.26	2.06	1.84	1.62	1.39	1.16	0.92	-	-	0.00
8	2.574	3	5	6	3	6	3	5	3	5	0.676	0.395	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.24	-	2.51	2.40	2.24	2.05	1.84	1.62	1.40	1.17	0.94	-	-	0.25
6	2.488	0	8	5	1	1	3	2	7	7	0.710	0.465	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.47	-	2.56	2.43	2.25	2.05	1.84	1.62	1.41	1.19	0.97	-	-	0.17
7	2.621	9	2	3	3	2	7	1	4	6	0.750	0.500	7

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.40	-	2.71	2.49	2.28	2.06	1.84	1.63	1.42	1.21	1.01	-	-	0.38
6	2.958	3	8	2	5	7	1	0	3	2	0.813	0.610	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.25	-	2.82	2.56	2.31	2.07	1.84	1.63	1.42	1.22	1.04	-	-	-
8	3.091	6	2	3	5	8	0	2	6	5	0.882	0.742	-0.68
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-3.73	-	2.93	2.61	2.33	2.07	1.84	1.61	1.41	1.22	1.05	-	-	0.37
	3.322	7	2	0	5	0	9	2	3	9	0.926	0.798	8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.60	-	2.98	2.61	2.31	2.05	1.81	1.59	1.38	1.19	1.04	-	-	2.34
5	3.529	8	7	8	5	5	2	4	5	0	0.966	1.145	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.39	-	2.86	2.55	2.26	2.01	1.77	1.54	1.33	1.13	0.94	-	-	0.46
1	3.202	8	1	8	1	3	9	5	3	1	0.751	0.472	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.20	-	2.73	2.45	2.19	1.94	1.71	1.49	1.27	1.05	0.84	-	-	0.62
7	3.020	1	1	1	8	7	4	5	8	0	0.624	0.453	9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.74	-	2.58	2.32	2.09	1.87	1.65	1.43	1.21	0.98	0.73	-	-	-
5	2.940	4	8	7	2	2	3	3	4	6	0.453	0.088	0.59
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.17	-	2.33	2.18	1.99	1.79	1.58	1.37	1.15	0.92	0.66	-	-	0.09
	2.410	6	2	5	2	4	3	8	8	8	0.363	0.036	5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.15	-	2.16	2.06	1.90	1.71	1.51	1.31	1.11	0.90	0.64	-	-	1.16
5	2.193	9	7	7	7	6	8	8	3	2	0.296	0.214	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-2.06	-	2.07	2.01	1.85	1.65	1.44	1.26	1.09	0.92	0.70	-	-	0.39
	2.038	9	0	1	0	7	2	4	1	3	0.393	0.024	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.90	-	2.09	2.04	1.83	1.58	1.35	1.18	1.07	0.98	0.85	-	-	0.57
1	1.821	7	3	5	5	9	9	4	4	6	0.596	0.118	4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.39	-	2.44	2.23	1.86	1.49	1.21	1.05	1.02	1.08	1.14	-	-	0.71
7	2.248	5	1	0	4	6	9	8	5	0	1.019	0.473	6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.82	-	3.20	2.57	1.87	1.31	0.95	0.80	0.89	1.18	1.59	-	-	-
5	3.329	2	6	9	6	0	5	2	9	9	1.864	1.473	-0.03
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.52	-	4.45	2.99	1.76	0.93	0.46	0.32	0.54	1.18	2.20	-	-	0.33
3	5.042	8	1	5	9	3	0	5	0	3	3.367	3.525	6
3.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	10.85	6.59	3.16	1.25	0.21	0.35	0.53	0.21	0.78	2.66	-	-	0.67
	8	8	5	2	0	5	5	3	2	8	5.875	9.595	3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99.9	28.48	7.91	1.81	0.13	0.99	1.55	1.89	1.64	0.50	1.81	-	28.30	-
9	4	0	7	0	8	7	2	5	5	0	7.868	9	9
		5.25	3.67	2.59	2.51	2.98	3.83	3.96	2.96				
	4.824	8	6	3	3	5	1	9	7	2.79	4.521	4.218	

Nota: la malla bidimensional evidencia una incidencia en la variación térmica del índice atmosférico Oscilación del Atlántico Norte (NOA).

La segunda variable climatológica es el índice oceánico del niño. Se hace uso de Excel para modelar las mallas bidimensionales y se aplica la ecuación 1, ver tabla 2

Tabla 2. Resultado de la aplicación del MDF, para datos de índice atmosférico ONI.

	-1.7	-1.5	-1.2	-1	-0.9	-1.2	-1.2	-1.2	-1.4	-1.7	-1.9	-1.9	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.2	0.898	1.051	1.006	0.936	0.911	0.989	1.012	1.031	1.096	1.161	1.108	0.777	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.3	0.640	0.799	0.836	0.827	0.819	0.831	0.828	0.814	0.793	0.738	0.593	0.301	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.4	0.563	0.669	0.711	0.716	0.706	0.689	0.656	0.604	0.525	0.404	0.227	0.033	0.1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.4	0.544	0.603	0.624	0.621	0.599	0.561	0.504	0.419	0.299	0.127	0.123	0.497	1.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.8	0.609	0.573	0.562	0.543	0.507	0.453	0.377	0.271	0.125	0.075	0.347	0.697	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.519	0.519	0.507	0.480	0.434	0.368	0.278	0.160	0.005	0.203	0.494	0.946	1.8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.3	0.446	0.478	0.468	0.434	0.380	0.305	0.208	0.087	0.063	0.249	0.482	0.791	1.3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.489	0.477	0.452	0.408	0.345	0.263	0.162	0.042	0.097	0.249	0.393	0.437	0
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.8	0.532	0.488	0.454	0.401	0.328	0.239	0.134	0.015	0.117	0.258	0.406	0.562	0.8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.4	0.351	0.489	0.474	0.411	0.327	0.229	0.119	0.000	0.127	0.262	0.410	0.607	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2	0.784	0.642	0.542	0.443	0.339	0.229	0.113	0.007	0.131	0.254	0.365	0.454	0.6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.3	0.941	0.752	0.608	0.479	0.355	0.233	0.111	0.013	0.137	0.257	0.342	0.246	0.7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.7	0.928	0.817	0.659	0.507	0.367	0.236	0.109	0.018	0.149	0.297	0.499	0.890	2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.9	1.255	0.927	0.702	0.523	0.371	0.233	0.105	0.019	0.145	0.284	0.468	0.813	1.7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.7	1.263	0.935	0.696	0.511	0.357	0.221	0.096	0.021	0.130	0.224	0.278	0.196	0.4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.6	1.160	0.854	0.637	0.467	0.324	0.196	0.078	0.032	0.130	0.206	0.225	0.091	0.5
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	0.922	0.685	0.527	0.395	0.274	0.159	0.049	0.056	0.154	0.244	0.327	0.442	0.8

	-	-	-	-	-	-	-						
0.3	0.341	0.434	0.392	0.311	0.216	0.116	0.014	0.087	0.188	0.289	0.399	0.549	0.8
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.4	0.309	0.318	0.294	0.238	0.162	0.073	0.022	0.121	0.222	0.325	0.433	0.555	0.7
-	-	-	-	-	-	-	-						
0	0.176	0.233	0.228	0.185	0.118	0.036	0.056	0.154	0.256	0.357	0.453	0.538	0.6
-	-	-	-	-	-	-	-						
0	0.163	0.208	0.198	0.154	0.088	0.006	0.086	0.186	0.290	0.394	0.486	0.544	0.6
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.4	0.267	0.238	0.201	0.144	0.071	0.015	0.110	0.214	0.327	0.445	0.551	0.553	0
-	-	-	-	-	-	-	-						
0	0.267	0.275	0.222	0.149	0.065	0.027	0.127	0.236	0.359	0.509	0.722	1.117	2.1
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.8	0.525	0.373	0.261	0.162	0.066	0.033	0.136	0.246	0.367	0.510	0.711	1.093	2.1
-	-	-	-	-	-	-	-						
1.1	0.659	0.431	0.285	0.171	0.066	0.036	0.140	0.246	0.353	0.454	0.521	0.444	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.9	0.581	0.404	0.277	0.168	0.063	0.040	0.143	0.246	0.347	0.434	0.474	0.364	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.4	0.360	0.326	0.251	0.157	0.057	0.045	0.148	0.251	0.356	0.462	0.577	0.738	1.1
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.9	0.134	0.287	0.241	0.151	0.052	0.050	0.153	0.257	0.365	0.481	0.634	0.911	1.6
-	-	-	-	-	-	-	-						
1.8	0.787	0.446	0.275	0.154	0.046	0.057	0.159	0.262	0.365	0.467	0.568	0.672	0.8
-	-	-	-	-	-	-	-						
1.6	0.767	0.432	0.259	0.139	0.035	0.066	0.167	0.269	0.367	0.453	0.498	0.411	0.1
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.1	0.249	0.255	0.190	0.107	0.018	0.077	0.176	0.279	0.384	0.483	0.561	0.573	0.4
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.2	0.074	0.148	0.135	0.081	0.005	0.084	0.183	0.291	0.407	0.535	0.690	0.922	1.4
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.1	0.097	0.129	0.120	0.074	0.004	0.084	0.184	0.295	0.419	0.561	0.742	1.023	1.6
0.1	0.085	0.148	0.140	0.091	0.017	0.073	0.176	0.289	0.413	0.549	0.695	0.830	0.8
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.1	0.196	0.236	0.199	0.131	0.046	0.052	0.159	0.275	0.397	0.527	0.661	0.803	1
-	-	-	-	-	-	-	-						
-1	0.564	0.398	0.289	0.188	0.085	0.023	0.136	0.254	0.377	0.501	0.619	0.721	0.9
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.9	0.661	0.502	0.368	0.245	0.126	0.009	0.109	0.230	0.355	0.483	0.592	0.563	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.5	0.676	0.579	0.436	0.296	0.165	0.040	0.082	0.204	0.333	0.485	0.705	1.138	2.3
-	-	-	-	-	-	-	-						
1.4	0.965	0.700	0.500	0.336	0.194	0.065	0.055	0.172	0.289	0.419	0.604	0.986	2.1
-	-	-	-	-	-	-	-						
1.6	1.083	0.754	0.527	0.354	0.209	0.081	0.035	0.141	0.233	0.301	0.306	0.102	0.9
-	-	-	-	-	-	-	-						
1.6	1.013	0.704	0.499	0.340	0.205	0.084	0.026	0.124	0.204	0.248	0.216	0.015	0.5
-	-	-	-	-	-	-	-						
0.7	0.663	0.549	0.424	0.302	0.185	0.073	0.032	0.128	0.211	0.272	0.295	0.244	0

-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.2	0.390	0.403	0.345	0.257	0.157	0.054	0.048	0.146	0.241	0.335	0.450	0.667	1.3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.2	0.292	0.327	0.295	0.223	0.131	0.032	0.069	0.170	0.271	0.378	0.503	0.673	0.9
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.1	0.252	0.317	0.283	0.207	0.112	0.010	0.093	0.196	0.298	0.402	0.512	0.623	0.7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.7	0.499	0.406	0.311	0.207	0.098	0.012	0.119	0.222	0.323	0.423	0.521	0.607	0.6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.7	0.638	0.494	0.349	0.212	0.083	0.037	0.149	0.253	0.350	0.444	0.544	0.683	1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.3	0.858	0.584	0.377	0.206	0.058	0.073	0.189	0.292	0.382	0.461	0.527	0.583	0.7
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4	0.911	0.604	0.369	0.177	0.014	0.124	0.243	0.344	0.427	0.491	0.519	0.423	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.8	0.780	0.552	0.318	0.116	0.054	0.197	0.316	0.414	0.493	0.559	0.634	0.789	1.3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4	0.856	0.504	0.236	0.023	0.151	0.294	0.411	0.503	0.571	0.620	0.670	0.799	1.3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.3	0.740	0.371	0.099	0.112	0.280	0.418	0.531	0.617	0.670	0.679	0.625	0.439	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.7	0.433	0.140	0.101	0.288	0.440	0.569	0.679	0.765	0.813	0.803	0.713	0.532	0.4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.154	0.144	0.353	0.501	0.622	0.738	0.853	0.952	1.013	1.008	0.892	0.576	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.6	0.175	0.516	0.668	0.742	0.809	0.910	1.042	1.176	1.280	1.323	1.272	1.079	0.6
0.4	0.938	1.079	1.059	0.991	0.963	1.051	1.231	1.429	1.610	1.731	1.793	1.868	2.3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	2.1	1.8	1.5	1.2	1	1.1	1.4	1.7	2	2.2	2.3	2.3	-

Nota: la malla bidimensional evidencia una incidencia en la variación térmica del índice oceánico del niño (ONI).

La tercera variable climatológica es la precipitación obtenida a partir de los rásters de WorlClim. Se hace uso de Excel para modelar las mallas bidimensionales y se aplica la ecuación 1, ver tabla 3.

Tabla 3. Resultado de la aplicación del MDF, para datos de precipitación.

	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	5.0	5.1	6.9	1.3	3.9	2.5	0.0	
0.2	2.9	5.9	9.1	12.9	18.2	23.5	29.2	36.5	44.8	59.9	85.2	137.0	270.8
0.0	5.6	11.4	17.6	24.5	32.5	41.5	51.9	64.9	81.7	105.8	141.2	192.1	240.9
0.0	8.1	16.5	25.4	35.0	45.8	57.9	72.2	89.4	111.2	140.3	181.9	249.3	397.7
0.0	10.4	21.1	32.4	44.4	57.6	72.4	89.4	109.3	133.3	162.5	196.7	225.6	183.0
0.0	12.5	25.2	38.5	52.6	67.9	84.7	103.6	125.2	150.2	179.7	216.6	273.5	422.2
0.0	14.3	28.8	43.9	59.7	76.6	95.0	115.2	137.6	162.5	189.7	216.6	229.4	153.8
0.0	15.9	31.9	48.4	65.7	83.9	103.5	124.6	147.5	172.5	199.8	230.8	273.9	383.8
0.2	17.2	34.5	52.2	70.6	89.9	110.4	132.1	155.4	180.2	206.4	232.7	251.6	222.7
0.0	18.3	36.7	55.4	74.7	94.8	115.9	138.1	161.6	186.5	213.0	241.9	277.0	341.1
0.0	19.2	38.5	58.0	78.0	98.7	120.3	142.9	166.5	191.3	217.3	244.7	273.6	302.7

1.4	20.3	39.9	60.0	80.6	101.8	123.8	146.5	170.2	194.8	220.3	246.1	269.9	275.9
0.0	20.5	40.9	61.6	82.6	104.2	126.4	149.3	172.9	197.5	222.8	249.6	283.9	367.3
0.0	20.8	41.7	62.8	84.1	105.9	128.2	151.2	174.9	199.3	223.9	245.6	249.0	158.2
0.0	21.1	42.3	63.7	85.2	107.1	129.5	152.4	176.1	200.9	227.9	259.7	308.3	430.3
0.0	21.4	42.8	64.3	86.0	107.9	130.2	152.8	176.1	200.5	226.9	257.2	294.2	331.8
0.0	21.6	43.1	64.8	86.5	108.4	130.4	152.6	175.1	198.1	222.0	248.1	279.3	324.5
0.2	21.7	43.4	65.1	86.9	108.7	130.5	152.2	173.7	194.7	214.9	233.8	250.6	265.3
0.0	21.8	43.6	65.4	87.2	109.0	130.6	151.9	172.7	192.2	209.2	221.4	224.1	210.2
0.0	21.9	43.8	65.7	87.6	109.4	131.0	152.3	172.9	192.1	208.4	218.6	214.1	167.9
0.0	22.0	44.1	66.1	88.1	110.0	131.8	153.4	174.5	194.8	213.7	230.5	245.8	268.8
0.0	22.2	44.3	66.5	88.6	110.7	132.8	154.9	177.0	199.0	221.1	243.9	269.8	312.7
0.0	22.4	44.6	66.8	89.1	111.4	133.9	156.5	179.4	203.0	227.9	254.2	276.8	252.0
0.8	22.7	44.9	67.2	89.6	112.1	134.8	157.7	181.3	205.9	233.1	268.0	331.4	519.4
0.5	22.7	45.0	67.4	89.9	112.5	135.3	158.4	182.0	206.1	230.7	253.5	261.3	184.2
0.1	22.6	45.1	67.6	90.1	112.8	135.6	158.7	182.1	205.9	230.1	254.0	276.1	296.5
0.0	22.6	45.2	67.7	90.3	112.9	135.6	158.6	181.8	205.4	229.7	256.2	292.6	379.4
0.0	22.6	45.2	67.8	90.3	112.9	135.5	158.2	181.1	204.2	227.3	248.5	258.6	213.3
0.0	22.7	45.3	67.9	90.4	112.9	135.2	157.6	180.1	203.0	226.7	252.0	279.9	311.4
0.0	22.7	45.4	68.1	90.5	112.9	135.0	156.9	178.8	200.9	224.5	253.0	297.6	392.7
0.0	22.9	45.7	68.4	90.9	113.1	135.0	156.4	177.2	197.4	217.2	238.0	264.6	315.7
0.0	23.0	46.0	68.8	91.4	113.7	135.4	156.4	176.2	194.2	209.1	217.3	207.2	132.3
0.0	23.3	46.5	69.6	92.4	114.8	136.6	157.5	177.0	194.1	207.6	214.9	214.5	221.1
0.0	23.6	47.1	70.5	93.7	116.5	138.7	160.1	180.1	197.8	212.1	220.3	214.6	159.0
0.0	24.0	47.9	71.7	95.4	118.8	141.8	164.1	185.3	205.0	222.8	239.7	264.8	347.1
0.6	24.6	48.8	73.1	97.3	121.5	145.5	169.1	192.2	214.1	234.2	250.8	257.8	223.1
0.0	24.8	49.6	74.4	99.3	124.4	149.5	174.8	200.1	225.1	249.3	271.5	292.3	326.1
0.0	25.2	50.4	75.7	101.2	127.1	153.5	180.5	208.3	237.0	266.2	293.8	313.8	315.6
0.0	25.5	51.0	76.7	102.8	129.4	156.8	185.3	215.6	248.3	284.6	323.7	353.6	291.7
0.0	25.7	51.4	77.4	103.9	130.9	158.9	188.4	220.3	256.3	300.1	363.0	485.0	836.4
0.3	25.9	51.7	77.7	104.3	131.4	159.6	189.2	221.0	256.3	296.6	343.1	387.0	348.9
0.1	25.8	51.6	77.6	104.0	131.0	158.8	187.7	218.3	251.2	286.9	326.0	370.9	452.7
0.0	25.6	51.3	77.1	103.2	129.7	156.8	184.6	213.4	243.2	273.9	302.9	317.9	256.4
0.0	25.4	50.8	76.3	102.0	127.9	154.1	180.5	207.3	234.5	262.5	293.8	341.6	473.7
0.0	25.1	50.2	75.4	100.6	125.8	151.0	176.1	200.9	225.0	247.8	268.1	281.0	260.7
0.0	24.8	49.6	74.4	99.1	123.7	148.1	172.1	195.2	216.8	235.7	249.7	253.7	231.7
0.0	24.6	49.1	73.5	97.8	121.9	145.7	168.8	190.9	211.2	228.5	241.5	252.2	289.2
0.1	24.3	48.6	72.7	96.7	120.4	143.8	166.6	188.5	208.6	225.7	235.5	224.5	138.2
0.0	24.1	48.2	72.1	95.8	119.3	142.5	165.4	187.7	209.2	230.0	250.3	272.0	300.0
0.3	24.0	47.9	71.6	95.1	118.5	141.7	164.7	187.6	210.7	234.9	263.8	313.2	455.6
0.0	23.9	47.7	71.3	94.7	117.9	141.0	164.0	187.3	211.0	235.0	256.8	261.5	171.1
0.0	23.9	47.6	71.1	94.4	117.4	140.3	163.2	186.6	211.0	237.2	266.9	304.7	379.2
0.0	24.0	47.8	71.3	94.4	117.1	139.5	161.9	184.8	209.1	236.2	268.7	311.4	372.9
0.0	24.2	48.2	71.8	94.8	117.1	138.8	160.2	181.7	204.4	229.8	260.3	299.3	349.2
0.0	24.8	49.1	72.9	95.8	117.7	138.4	158.3	177.5	197.0	218.2	243.3	276.4	330.2
0.0	25.7	50.7	74.9	97.8	119.3	139.1	156.9	173.0	187.9	202.6	218.3	232.9	216.5

0.0	27.2	53.1	78.0	101.4	122.8	141.5	157.3	169.7	179.0	186.0	194.6	220.5	335.3
4.1	29.9	56.6	82.6	107.0	128.8	147.1	161.0	169.7	172.4	167.8	153.4	119.0	16.6
1.3	31.8	60.8	88.8	115.1	138.3	157.0	169.8	175.6	172.9	159.5	132.2	85.7	12.9
4.5	35.0	66.0	96.8	126.3	152.5	172.7	185.7	190.1	184.2	165.2	130.2	78.6	11.7
5.5	37.7	71.4	106.2	140.9	172.4	195.8	210.0	214.9	208.7	186.7	145.0	86.9	14.0
4.3	39.0	75.7	115.6	158.6	200.6	228.2	243.5	251.0	248.9	227.9	176.1	109.9	13.9
2.9	38.3	76.8	121.9	177.5	243.0	272.9	284.7	296.6	308.0	300.0	221.5	162.6	196.4
6.9	34.5	71.4	117.7	186.3	321.1	335.5	326.0	342.7	386.5	442.6	247.3	122.7	43.9
	21.3	56.5	91.2	129.1	519.4	422.2	341.0	361.8	452.7	836.4	202.6	37.0	

Nota: la malla bidimensional evidencia una incidencia en la variación térmica de la precipitación.

La cuarta variable climatológica es la temperatura obtenida a partir de los rásters de WorlClim. Se hace uso de Excel para modelar las mallas bidimensionales y se aplica la ecuación 1, ver tabla 4.

Tabla 4.

Resultado de la aplicación del MDF, para datos de temperatura

	21.4	21.6	20.2	22.4	24.0	24.1	23.4	23.5	23.7	23.4	21.5	21.7	
29.9	25.9	24.3	23.6	24.1	24.7	24.9	24.9	25.0	25.3	25.6	26.0	28.3	34.5
30.2	27.8	26.4	25.6	25.6	25.8	26.0	26.1	26.4	26.9	27.6	28.7	31.0	34.8
30.1	28.7	27.7	27.0	26.8	26.9	27.0	27.3	27.7	28.2	29.1	30.3	32.1	34.5
30.2	29.2	28.5	28.1	27.9	27.9	28.0	28.3	28.7	29.3	30.2	31.3	32.7	34.1
29.7	29.6	29.1	28.8	28.7	28.7	28.9	29.2	29.6	30.2	31.0	32.0	33.2	34.5
31.2	30.1	29.7	29.4	29.3	29.4	29.6	29.9	30.3	30.9	31.6	32.5	33.5	34.7
30.1	30.1	30.0	29.9	29.9	30.0	30.2	30.5	30.9	31.5	32.1	32.9	33.8	34.8
30.2	30.2	30.2	30.2	30.3	30.4	30.6	31.0	31.4	31.9	32.5	33.2	33.8	34.3
30.4	30.4	30.4	30.5	30.6	30.8	31.0	31.4	31.8	32.3	32.8	33.4	34.1	34.7
30.3	30.5	30.6	30.7	30.9	31.1	31.3	31.7	32.1	32.5	33.1	33.7	34.5	35.9
31.2	30.8	30.8	30.9	31.1	31.3	31.6	31.9	32.3	32.7	33.2	33.7	34.2	34.3
30.1	30.6	30.8	31.0	31.2	31.5	31.8	32.1	32.5	32.9	33.3	33.8	34.3	34.7
31.2	30.8	30.9	31.1	31.4	31.6	31.9	32.3	32.6	33.0	33.4	33.9	34.4	34.9
30.1	30.6	30.9	31.2	31.5	31.8	32.1	32.4	32.7	33.1	33.5	34.0	34.5	35.7
30.2	30.6	30.9	31.2	31.5	31.9	32.2	32.5	32.8	33.2	33.5	33.9	34.1	33.8
29.7	30.5	31.0	31.3	31.6	31.9	32.3	32.6	32.9	33.3	33.6	33.9	34.2	34.6
30.5	30.8	31.1	31.4	31.7	32.0	32.3	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.2	34.2
31.1	31.0	31.2	31.5	31.8	32.1	32.4	32.8	33.1	33.4	33.8	34.1	34.5	34.9
30.9	31.1	31.3	31.6	31.9	32.2	32.5	32.8	33.2	33.5	33.8	34.2	34.6	35.4
30.6	31.0	31.3	31.6	32.0	32.3	32.6	32.9	33.2	33.6	33.9	34.2	34.5	34.5
30.4	31.0	31.4	31.7	32.0	32.3	32.7	33.0	33.3	33.6	34.0	34.3	34.7	35.4
30.8	31.2	31.5	31.8	32.1	32.4	32.7	33.0	33.4	33.7	34.0	34.3	34.5	34.2
31.2	31.4	31.6	31.9	32.2	32.5	32.8	33.1	33.4	33.8	34.1	34.4	34.7	34.9
31.9	31.6	31.7	31.9	32.2	32.5	32.9	33.2	33.5	33.8	34.2	34.6	35.1	36.2
30.6	31.3	31.7	32.0	32.3	32.6	32.9	33.2	33.6	33.9	34.2	34.6	35.0	35.6
30.9	31.3	31.7	32.0	32.3	32.6	33.0	33.3	33.6	33.9	34.2	34.5	34.6	34.2

30.9	31.3	31.7	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.6	34.9	35.1
31.2	31.5	31.8	32.1	32.4	32.8	33.1	33.4	33.7	34.0	34.4	34.7	35.2	36.0
31.1	31.5	31.9	32.2	32.5	32.8	33.1	33.4	33.8	34.1	34.4	34.8	35.2	35.7
31.5	31.7	32.0	32.3	32.6	32.9	33.2	33.5	33.8	34.1	34.4	34.7	35.0	34.8
31.5	31.9	32.1	32.4	32.6	32.9	33.2	33.5	33.8	34.2	34.5	34.8	35.1	35.4
32.4	32.1	32.2	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	33.9	34.2	34.6	34.9	35.3	35.7
31.7	32.0	32.2	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	33.9	34.2	34.6	35.0	35.4	36.2
31.2	31.8	32.2	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	33.9	34.3	34.6	34.9	35.3	35.6
31.9	31.9	32.2	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	34.0	34.3	34.6	34.9	35.1	35.1
31.8	31.9	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.6	34.9	35.2	35.2
31.3	31.8	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.7	35.0	35.4	35.8
31.8	31.8	32.0	32.4	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.4	34.7	35.2	35.7	36.4
30.6	31.4	31.9	32.3	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.4	34.7	35.2	35.7	36.8
30.6	31.4	31.9	32.3	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.7	35.0	35.3	35.1
31.4	31.7	32.0	32.4	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.6	34.9	35.2	35.3
31.9	31.9	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.3	34.6	34.9	35.2	35.5
31.8	32.0	32.2	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	34.0	34.3	34.6	35.0	35.3	35.5
31.8	32.0	32.2	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	34.0	34.3	34.6	35.0	35.4	35.8
32.0	31.9	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.6	33.9	34.3	34.7	35.0	35.4	35.6
30.6	31.6	32.0	32.3	32.6	32.9	33.3	33.6	33.9	34.3	34.7	35.1	35.6	36.3
32.4	31.9	32.0	32.3	32.6	32.9	33.2	33.5	33.9	34.2	34.6	35.0	35.5	35.9
30.7	31.5	31.9	32.2	32.5	32.8	33.1	33.5	33.8	34.2	34.6	35.0	35.4	35.9
31.0	31.5	31.9	32.2	32.5	32.8	33.1	33.4	33.7	34.1	34.5	34.9	35.2	35.5
32.1	31.8	31.9	32.1	32.4	32.7	33.0	33.3	33.7	34.0	34.4	34.8	35.2	35.6
31.3	31.6	31.8	32.0	32.3	32.6	32.9	33.2	33.5	33.9	34.3	34.7	35.2	35.7
30.7	31.4	31.7	31.9	32.2	32.5	32.8	33.1	33.4	33.8	34.1	34.6	35.1	35.6
31.8	31.6	31.6	31.8	32.1	32.4	32.6	32.9	33.2	33.6	34.0	34.4	34.9	35.3
32.0	31.5	31.5	31.6	31.9	32.2	32.5	32.8	33.1	33.3	33.7	34.2	35.0	36.3
31.4	31.0	31.0	31.3	31.7	32.1	32.4	32.7	32.9	33.0	33.2	33.6	34.5	36.3
32.9	30.2	30.3	30.9	31.6	32.0	32.4	32.6	32.7	32.7	32.6	32.6	33.2	36.2
21.5	26.6	29.0	30.5	31.5	32.1	32.5	32.6	32.6	32.4	31.9	31.1	29.4	25.2
21.5	25.7	28.7	30.7	31.9	32.5	32.8	32.8	32.7	32.3	31.6	30.3	28.2	25.1
21.6	26.2	29.4	31.5	32.7	33.3	33.3	33.2	33.1	32.6	31.8	30.4	28.1	24.1
20.2	27.8	31.3	33.2	34.3	34.5	33.9	33.8	33.7	33.2	32.5	31.4	29.6	25.0
	33.7	34.7	35.8	36.8	36.4	34.2	34.2	34.7	34.2	33.5	33.2	34.0	

Nota: la malla bidimensional evidencia una incidencia en la variación térmica de la temperatura.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos propuestos, se realizó un análisis de datos de los índices atmosféricos Oscilación del Atlántico Norte, Índice Oceánico del Niño, la precipitación y temperatura, implementando el método de diferencia finitas (MDF), todo en el contexto de la crisis climática global, para los cuatros variables se manifiestan variabilidad térmica muy crítica evidenciando, la

variabilidad de la NAO y el ONI; el dominio del déficit de precipitación, y el dominio de las altas temperaturas, todos ellos estrechamente correlacionados con la crisis climática global.

De las tablas, la prevalencia del color rojo en una buena región, nos indica un escenario climático muy crítico para nuestro tiempo, alertándonos de esta manera a que se deben de proceder de manera acelerada con estrategias más fuertes para enfrentar las embestidas de la crisis climática global.

Finalmente, la importancia que tiene la metodología de diferencia finitas en el contexto de la crisis climática global, ha sido una herramienta poderosa para el tratamiento de las variables medidas, mismo que nos describe la alerta en términos de reflexionar de lo que esta pasando con el clima de nuestra madre tierra.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios, nuestro padre, que me ha dado la mano para continuar por el buen camino como persona.

A mi madre Beatriz Picado, por enseñarme el camino del éxito.

A mis hijos Dafned Itziar Tirado Flores, y Víctor Manuel Tirado Flores, seré siempre su guía.

A mi esposa, Lisseth Carolina Blandon Chavarría, quien confía en mis éxitos, gracias por estar a mi lado.

A la Universidad Americana, por abrir las puertas del conocimiento en esta nueva etapa de mi vida.

BIBLIOGRAFÍA

Azpiroz Yoldi, M. (1962). *Los Metodos de Diferencias Finitas y su Aplicacion en Meteorología*. Madrid, España: Conferencia pronunciada en Madrid. España.

Cangelosi, C. G., & Sanzi, H. C. (2022). Análisis Termonmecánico de un Reactor mediante el Método de Diferencias Finitas y su Verificación a partir del Método de los Elementos Finitos. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, 25-41.

Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2011). *Métodos numéricos para ingenieros*. México D.F.: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

- Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología (CONICIT) de Venezuela. (1998). El Fenomeno de El Niño. *COMUNICA*, 48-55.
- de Greiff Bravo, L. (1955). Aplicación de la teoría de diferencias finitas al calculo de polinomios. *Revista Colombiana de Matemáticas*, 1-12.
- García Faria, T. I. (29 de junio de 2017). Modeliación de la ecuación de calor con diferencias finitas. Barcelona, España: Treball final de grau, Grau de Matemàtiques, Fcultat de Matemàtiques e Informàtica Universitat de Barcelona.
- Lara Romero, L., Chávez Aliaga, Z., & Castañeda Vergara, J. (2019). *El método de diferencias finitas. Teoría y Práctica*. Trujillo-Perú: Imprenta Editorial Gráfica Real S.A.C.
- Leal, A., Celedón, V., Vides L, A., & Gómez J, H. (2003). Modelamiento de los niveles de contaminación en un trao de río Sogamoso, mediante el acoplamiento de los métodos Lattice-Boltzmann y diferencias finitas. *Tecnura*.
- Llopis, J. (31 de julio de 2023). *matesfacil*. Obtenido de <https://www.matesfacil.com/UNI/EDF/ecuaciones-en-diferencias-finitas.html>
- Martinez, M, L. (1995). *Estudio de esquemas en diferencias finitas para el calculo del flujo comprensible unidimensional, no estacionario y no isentópico (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de Válcencia)*.
- Olivera D., I. (2020). *Aplicaciones de Diferencias Finitas y redes de Boltzmann en Ingeniería Biométrica (Doctoral dissertation)*. Universidad Nacional Autonoma de México.
- Picado, V. (2019). Precipitation forescat model for hydrological units using artificial neural networks (ANN). *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, 19-23.
- Picado, V. (2020). Methodology for the calculation of RMP Curves (Rpertition, Magnitude, Persistence). *International Journal of Engineering Sciencie* , 20-24.
- Sánchez-Santillan, N., Signoret-Poillon, M., & Garduño-López, R. (2006). La Oscilación del Atlántico Norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 1405-7743.

Sandoval-Ruiz, C. (2019). Método Números en Diferencias Finitas para la Estimación de Recursos de Hardware FPGA en arquitectura LFSR (n,k) Fractales. *Ingeniería, investigación y tecnología*.