

Redes neuronales artificiales para la clasificación de variables que inciden en el confort climático

Nieves Soledad Vásquez Perales

vasquez.perales.nieves@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8153-1716>

Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho"

Doctorado en Ciencias

Tarija – Bolivia

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es realizar la clasificación de variables que inciden en el confort climático a través de redes neuronales artificiales. La determinación del confort climático se fundamenta en el índice de confort experimentado basado en el poder de refrigeración propuesto por Leonardo Hill y Morikofer-Davos y ajustado a través de la metodología planteada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 1998). Se utilizan datos meteorológicos históricos diarios de la estación meteorológica Tarija Aeropuerto, ubicada en la ciudad de Tarija, departamento de Tarija del Estado Plurinacional de Bolivia, comprendidos entre el año 2017 y 2021, los mismos obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, s.f.-a). La clasificación de las variables que inciden en el confort climático se realiza a partir del entrenamiento de la red neuronal artificial (RNA) con propagación hacia adelante Perceptrón Multicapa con 3 capas: entrada, oculta y salida. El resultado, producto del entrenamiento y validación cruzada del modelo RNA, corresponde a 3 neuronas en la capa de entrada, 6 en la capa oculta y 5 en la capa de salida, teniendo un total de 1558 instancias clasificadas correctamente y 145 instancias clasificadas incorrectamente.

Palabras clave: *redes neuronales artificiales; datos meteorológicos; índice de confort; confort climático.*

Correspondencia: vasquez.perales.nieves@gmail.com

Artículo recibido 15 setiembre 2022 Aceptado para publicación: 15 octubre 2022

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Cómo citar: Vásquez Perales, N. S. (2022). Redes neuronales artificiales para la clasificación de variables que inciden en el confort climático. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 3020-3038. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3750

Artificial neural networks for the classification of variables that affect climatic comfort

ABSTRACT

The objective of the present investigation is to carry out the classification of variables that affect climatic comfort through artificial neural networks. The determination of climatic comfort is based on the experienced comfort index based on the cooling power proposed by Leonardo Hill and Morikofer-Davos and adjusted through the methodology proposed by the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM, 1998). Daily historical meteorological data from the Tarija Aeropuerto meteorological station, located in the city of Tarija, Tarija department of the Plurinational State of Bolivia, between the years 2017 and 2021, are used, the same obtained from the National Meteorology and Hydrology Service (SENAMHI, s.f.-a). The classification of the variables that affect climatic comfort is carried out from the training of the artificial neural network (RNA) with forward propagation Multilayer Perceptron with 3 layers: input, hidden and output. The result, product of the training and cross validation of the RNA model, corresponds to 3 neurons in the input layer, 6 in the hidden layer and 5 in the output layer, having a total of 1558 correctly classified instances and 145 incorrectly classified instances.

Keywords: *artificial neural networks; weather data; comfort index; climate comfort.*

1. INTRODUCCIÓN

Las variaciones del clima pueden incidir en la vida de las personas, ya que las condiciones climáticas están relacionadas al estado ideal de comodidad y bienestar en búsqueda de las condiciones más óptimas de confort. Jiménez (2008) señala que “cuando el ambiente térmico no es agradable, surge la situación de disconfort y el rendimiento físico e intelectual disminuye” (p. 58).

Al respecto Jendritzky (1991, como se citó en Ferrelli y Piccol, 2016) indica que:

El confort es una variable subjetiva y depende de la edad, el género, la forma corporal, la alimentación, el color de la piel, el estado de salud, entre otros factores. El confort es entonces la relación existente entre el clima de un área y la percepción de la población. Esta situación es distinta en verano e invierno. Durante el verano, las sensaciones de temperaturas extremas pueden generar desestimulación en la población y reducir los esfuerzos físicos y mentales. (p. 92)

La Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) define al *confort térmico* como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico circundante y se evalúa mediante la evaluación subjetiva” (ASHRAE, 2022, definición thermal comfort).

SENAMHI (s.f.-b) define a la *sensación térmica / factor de enfriamiento / índice del enfriamiento del aire* como:

La temperatura aparente que describe el efecto de enfriamiento de la combinación de temperatura y viento sobre la piel expuesta, expresada en términos de la pérdida de calor corporal. A mayores velocidades del viento, se acelera la pérdida de calor corporal. (p. 51)

Fueron varios los modelos para el cálculo de confort desarrollados hasta ahora; sin embargo, Gómez (2012) sostiene que existen discrepancias entre las predicciones térmicas de los índices de confort calculados y las sensaciones térmicas subjetivas, poniendo en evidencia, que las personas podrían adaptarse al entorno (p. 56).

Giraldo-Castañeda (2021) sostiene que las variables que influyen en el confort térmico, principalmente son la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento, el nivel de vestimenta y la tasa metabólica.

Además, indica que autores como (Olgyay, 1998), (Givoni, 1976) y (Fanger, 1970), propusieron modelos basados en estas variables para poder determinar el confort (p. 116). Por otra parte, (IDEAM, 1998) presenta una metodología para el cálculo de la sensación térmica tomando como base a la temperatura, la humedad relativa y el viento (p. 5). Entonces, todos estos modelos se basan en las series de tiempo históricas de variables climáticas.

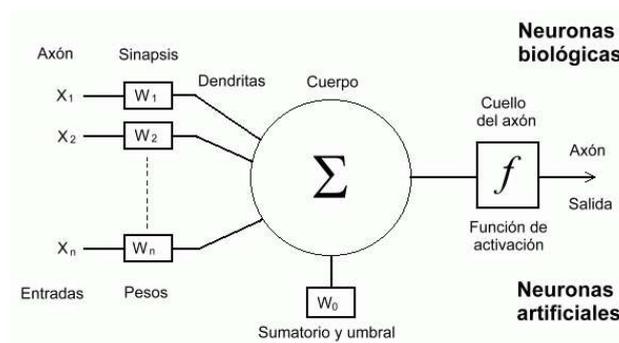
Una de las técnicas de minería de datos que se utiliza para modelar relaciones entre los datos de entrada y salida, predecir estados futuros o realizar clasificaciones de series de tiempo son las redes neuronales artificiales (RNA). Kelleher (2019, como se citó en Fernández, 2021) define a las RNA como “una rama de la inteligencia artificial, que se remonta a la década de 1940. Fueron McCulloch y Pitts los que desarrollaron los primeros modelos de redes neuronales” (p. 5).

Martínez (2014) sostiene que las RNA “permiten modelizar problemas complejos en los que puede haber interacciones no lineales entre las variables” (p. 59). Haciendo una analogía con un grafo dirigido, una RNA puede asemejarse a su estructura, teniendo a los vértices como los elementos dentro del proceso y las aristas como las interconexiones, lo cual permite tener una gran capacidad de generalizar distintos tipos de casos a partir del entramiento de datos. Por lo tanto, una RNA es un conjunto de neuronas artificiales.

Gutiérrez (2014), define la neurona artificial como “una abstracción matemática simplificada del comportamiento de una neurona biológica” (p. 26). La Figura 1 muestra la relación existente entre una neurona biológica y una neurona artificial.

Figura 1

Relación entre una neurona biológica y una neurona artificial



Nota. Tomado del Programa de Actualización y Especialización “ON LINE” en Nuevas Tecnologías y Contaminación de Atmósferas para PYMES, por Requena et al., s.f., Universidad de Murcia (<https://www.um.es/LEQ/Atmosferas/Ch-VI-3/F63s4p3.htm>)

Entonces, un buen entendimiento de los beneficios que puede aportar la aplicación de las RNA para la clasificación de variables climáticas que inciden en el confort climático, permite apoyar a los estudios ya realizados en este ámbito para el análisis del confort climático apoyados en técnicas de minería de datos, el cual se constituye en el tema que aborda el presente trabajo de investigación.

Como antecedente de estudios realizados y relacionados con el trabajo, (Picone y Campo, 2016) realizaron el análisis del confort climático en la ciudad de Tandil, Argentina, donde consideran las condiciones regionales a través de la utilización de tres índices de verano: Humidex, Temperatura aparente y Temperatura-Humedad, y uno de invierno: Temperatura equivalente, concluyendo que, durante la época invernal, el área geográfica de estudio tiene poco confort térmico y en la época invernal que tiene poco confort durante la tarde y la noche (pp. 115-125).

Asimismo, (Tanana et al., 2021) realizaron el estudio del confort climático y turismo aplicado a diferentes niveles de resolución temporal en Puerto Iguazú, Argentina, cuya estructura tiene dos objetivos, una tiene que ver con la comparación de tres índices bioclimáticos: Complejo Termo-anemométrico, Complejo Termo-higrométrico y Humidex en comparativa con el índice climático-turístico; el otro objetivo está enfocado a la generación de información con mayor grado de detalle. En este estudio se confirma el comportamiento esperado para el confort (pp. 1-10).

Con respecto a la ubicación geográfica y características climáticas del área de estudio, el Gobierno Autónomo del Departamento de Tarija (GADT, 2014) a través del Plan Departamental de Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático (2014-2018) hace referencia que, por la ubicación geográfica del departamento de Tarija en el extremo sur del Estado Plurinacional de Bolivia entre los 20°50' y 22°50' de latitud Sur y entre los 62°15' y 65°20' de longitud Oeste, presenta altas temperaturas que son las causales de las sequías ecológicas; asimismo, presenta un bajo nivel de precipitaciones, a esto sumado que al estar ubicado en una zona de alta presión, la temperatura promedio anual es de 19°C y precipitación promedio anual es de 512.46 mm (p. 13).

Por otra parte, GADT (2014) indica que el departamento de Tarija tiene una alta predisposición a las corrientes marinas del sur, las mismas que provienen de la República Argentina y el Océano Atlántico, ocasionando descensos de temperatura durante 2 o 3

días, originando heladas e incluso nevadas; a eso sumado la presencia de eventos convectivos ocasiona la ocurrencia de granizadas (pp. 12-13).

En cuanto a la división administrativa del departamento de Tarija, la Tabla 1 muestra esta división organizada por provincia y municipio.

Tabla 1

División administrativa del departamento de Tarija

Provincia	Municipio
Cercado	Tarija
Aniceto Arce	Padcaya Bermejo
Gran Chaco	Yacuiba Caraparí Villamontes
Avilés	Uriondo Yunchará
Méndez	Villa San Lorenzo El Puente
Burnet O'Connor	Entre Ríos

Nota. Tomado del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2015, p. 186)

Los resultados del Censo 2012 emitidos por el INE, indican que el municipio de Tarija presenta una población de 205,375 habitantes empadronados, con una tasa de crecimiento anual de 2.6%, donde el 87.4% corresponde al área urbana y 12.6% al área rural; siendo la población estimada en el año 2022 de 272,376 habitantes (INE, 2015, p. 186; INE, 2016, párrafo 2).

El alcance geográfico del estudio comprende la ciudad de Tarija, capital del municipio de Tarija, el cual es atravesado por el río Guadalquivir, que, por la confluencia de sus afluentes presenta riesgo de inundaciones, granizadas, sequías y heladas. Entre otras características, la temperatura presenta una media anual de 17.9°C con promedios máximos y mínimos anuales de 26.2°C y 9.5°C respectivamente. El 94% de las lluvias se presentan entre los meses de octubre y marzo, caracterizándose así con una marcada estacionalidad. (IHCantabria, 2021, pp. 22, 35).

GADT (2014) señala que la vulnerabilidad social tiene una escala muy alta en zonas donde existen fuentes de agua y vulnerabilidad baja en los usuarios de estas fuentes como es el caso de la ciudad de Tarija (pp. 30-32).

En este contexto, con el fin de contar con más elementos de análisis relacionados con la variabilidad climática y su incidencia en el confort climático, se hace necesario el desarrollo de nuevos estudios en el marco de esta temática para que los mismos sean considerados como insumo de los planes departamentales para un análisis integral en lo que respecta a la gobernanza e institucionalidad.

Finalmente, el objetivo de la presente investigación es realizar la clasificación de variables de entrada que inciden en el confort climático a través de redes neuronales artificiales, considerando los datos meteorológicos de la estación Tarija Aeropuerto, ubicada en la ciudad de Tarija, departamento de Tarija del Estado Plurinacional de Bolivia.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El método científico que se aplica en el presente trabajo de investigación es el inductivo-deductivo, porque por una parte se realiza generalizaciones a partir de datos meteorológicos históricos y por otra parte, se toman en cuenta conceptos generalmente aceptados para obtener explicaciones específicas en el marco del trabajo desarrollado.

La investigación se enmarca en el enfoque mixto, debido a que se considera la recolección de datos fundamentado en la medición, el análisis de datos y técnicas basadas en redes neuronales con el fin de clasificar los fenómenos investigados a partir de datos meteorológicos, pero con la característica de ser secuencial, donde la premisa principal es precisar las variables de estudio; asimismo, se establece un análisis crítico de los resultados obtenidos.

El alcance es de tipo explicativo, debido a que la investigación va más allá de la descripción del fenómeno que se estudia, ya que está orientado a poder responder cómo se clasifican las variables que inciden en el confort climático.

El diseño corresponde a la investigación no experimental de tipo longitudinal, porque se realiza el estudio y análisis de datos meteorológicos históricos, dado que no se tiene control de los mismos porque ya se llevaron a cabo; asimismo, se tiene en cuenta el análisis de los cambios que suceden en las variables climáticas con el transcurso del tiempo.

Los datos que se consideran para la investigación son los valores de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) comprendidos entre el año 2017 y 2021 correspondientes a la estación meteorológica Tarija Aeropuerto obtenidos del SENAMHI, cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2*Características técnicas de la estación meteorológica Tarija Aeropuerto*

Característica	Descripción
Código	A-2164 [Activo]
Nombre	Tarija Aeropuerto
Tipo	Meteorológica
Subtipo	Convencional
Latitud	-21.549179
Longitud	-64.707653
Altitud	1875 (m.s.n.m.)
Departamento	Tarija
Provincia	Cercado
Municipio	Tarija
Fecha de creación	30/03/1994

Nota. Tomado de (SENAMHI, s.f.-a)

Asimismo, es importante mencionar que en la información meteorológica base, se tienen datos faltantes en el periodo de estudio, razón por la cual se aplica el ajuste lineal correspondiente con estaciones meteorológicas cercanas a la estación Tarija Aeropuerto, como ser las estaciones de El Tejar y San Andrés.

Voogt (2002, como se citó en Picone y Campo, 2016) afirma que las ciudades que presentan condiciones favorables de confort térmico en la época de invierno son las que presentan un clima templado, asimismo, podrían tener también un confort desfavorable en la época de verano (p. 124).

IDEAM (1998), a través de la metodología para el cálculo del confort, realiza un ajuste a la fórmula del poder de refrigeración propuesta por Leonardo Hill y Morikofer-Davos, denominándola índice de confort, donde se incluye el parámetro de humedad relativa y se modifican los valores base considerando el cambio de temperatura que se presenta con la altura (p. 12).

En este contexto, de acuerdo al área geográfica de estudio de la presente investigación, esta tiene una alta relación con la fórmula de índice de confort para lugares con elevaciones entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m., siendo así la ecuación 1 la que se toma en cuenta en el trabajo, aplicando los valores medios de las variables consideradas.

$$IC = (34.5 - t_s)(0.05 + 0.04\sqrt{v} + h/180) \quad (1)$$

Donde: $IC = \text{índice de confort}$

$t_s = \text{temperatura del aire en grados centígrados } (^{\circ}C)$

$v = \text{velocidad del viento en metros por segundo (m/s)}$

$h = \text{humedad relativa en porcentaje (\%)}$

Por otra parte, se toma en cuenta la nueva clasificación bioclimática propuesta por (IDEAM, 1998) presentada en la Tabla 3, donde la sensación experimentada es el resultado asociado al confort climático.

Tabla 3

Clasificación bioclimática en función a la sensación experimentada

Índice de confort (IC)			Sensación experimentada
0	a	3	Muy caluroso
3.1	a	5	Caluroso
5.1	a	7	Cálido
7.1	a	11	Agradable
11.1	a	13	Algo frío
13.1	a	15	Frío
Más	de	15	Muy frío

Nota. Tomado de (IDEAM, 1998, p. 17)

Para la representación geográfica del área de estudio, se utiliza la herramienta ArcMap 10.8 de ArcGis, a través de sobreposición de capas geográficas, además de otros elementos de interés para la elaboración de mapas temáticos relacionados al presente trabajo (ESRI, s.f.).

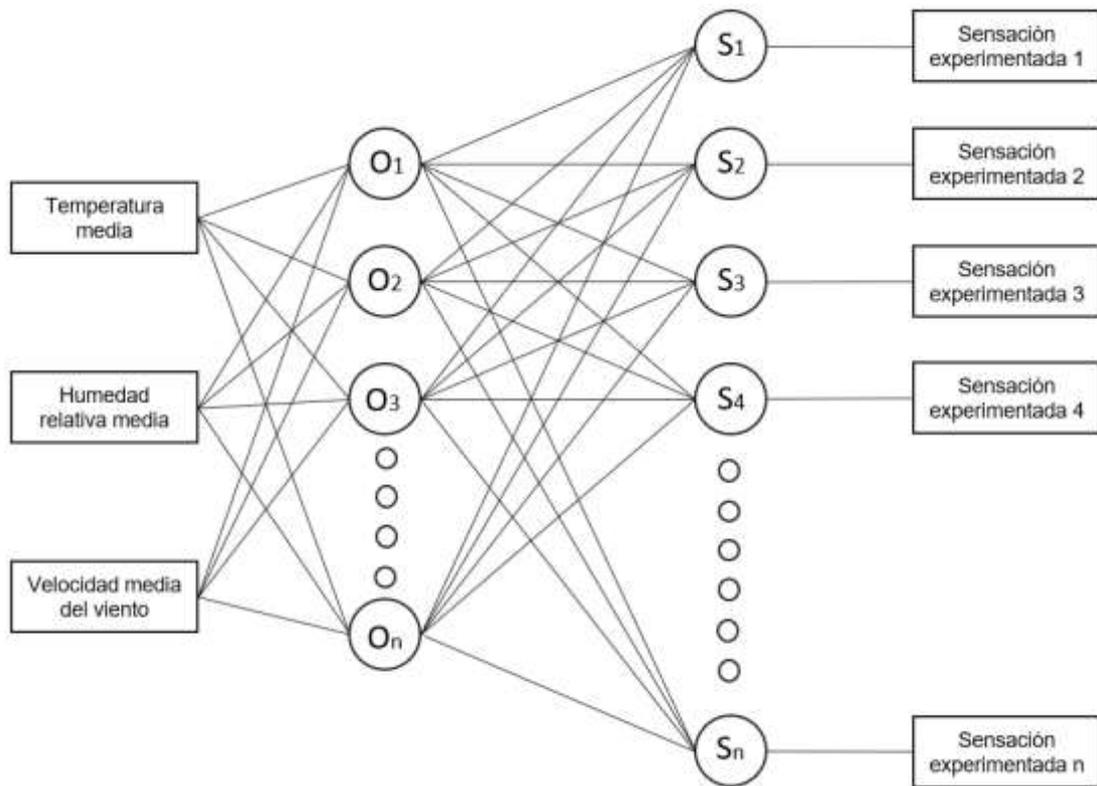
Las capas geográficas se obtienen del portal institucional de GeoBolivia, la cual es una iniciativa de la Vicepresidencia del Estado Plurinacional de Bolivia y cuenta con un repositorio avanzado de información geográfica y ficheros de metadatos de libre acceso (GeoBolivia, 2022).

Para la clasificación de las variables que inciden en el confort climático, se aplica el modelo de RNA unidireccional Perceptrón Multicapa, el cual es una red con característica de alimentación hacia adelante, que además consta de tres capas: una capa de entrada, una capa de salida y capas intermedias (capas ocultas). Vivas (2014) señala que la

característica principal de este modelo, es que el aprendizaje se realiza a través de la minimización de una función error que mide la diferencia entre la salida deseada y la obtenida (p. 30). La Figura 2 muestra la arquitectura del modelo de RNA propuesto.

Figura 2

Arquitectura RNA propuesto



Nota. La preparación de los datos de entrada y los resultados del entrenamiento RNA determinan la cantidad de neuronas ocultas y de salida. La sensación experimentada está relacionada al confort climático como salida del modelo.

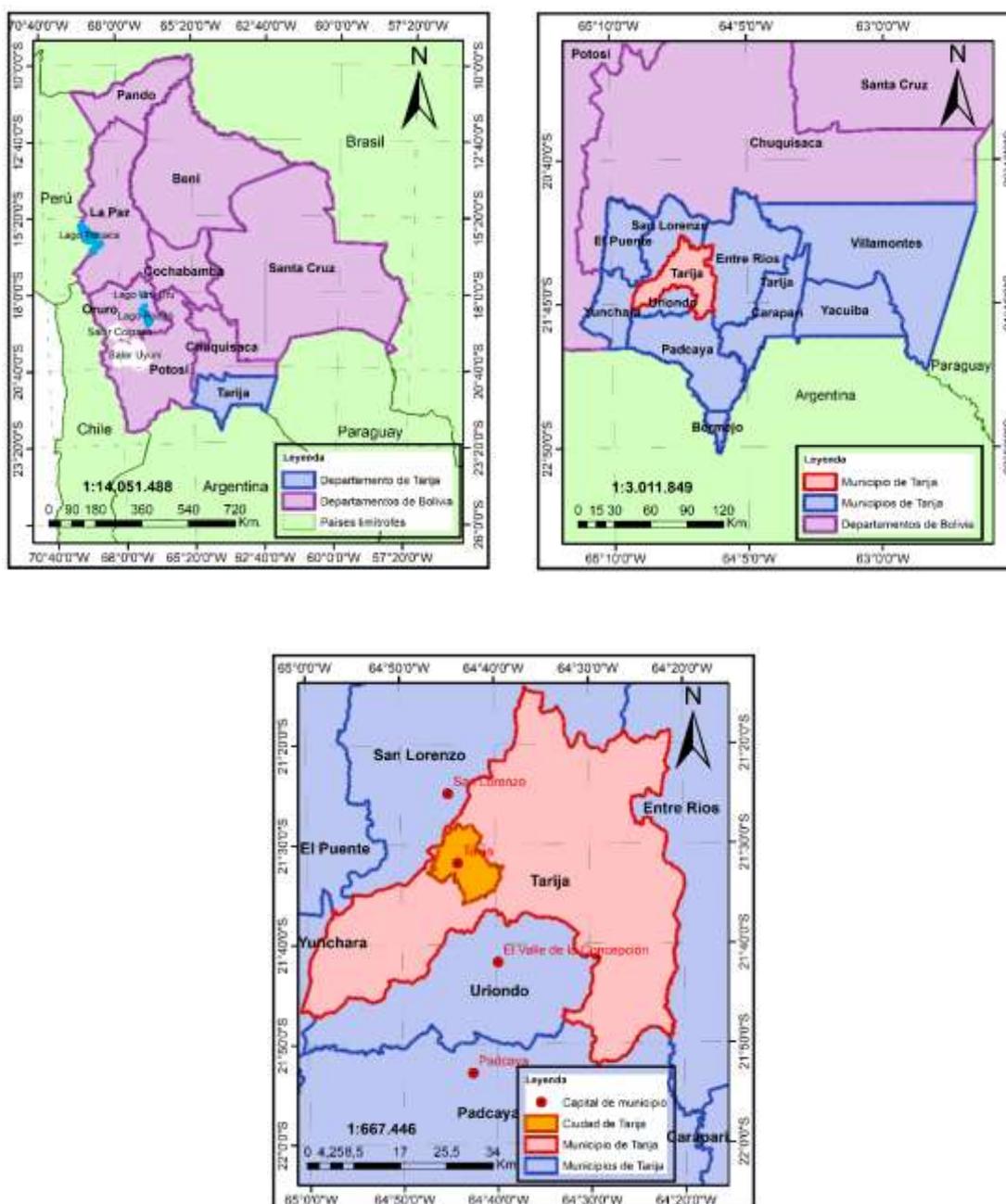
El software que se utiliza para la aplicación del modelo RNA Perceptrón Multicapa es Weka 3.9.6, donde para el entrenamiento de la red, se prepara el archivo de entrada con extensión .arff con las variables ajustadas indicadas en la Ecuación 1 y teniendo como resultado o salida para cada uno de sus registros la clasificación de la Tabla 3.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identifica el área geográfica de estudio. La Figura 3 muestra la ubicación geográfica de la ciudad de Tarija, partiendo desde la ubicación del departamento de Tarija en el Estado Plurinacional de Bolivia y la ubicación geográfica del municipio de Tarija.

Figura 3

Ubicación geográfica de la ciudad de Tarija

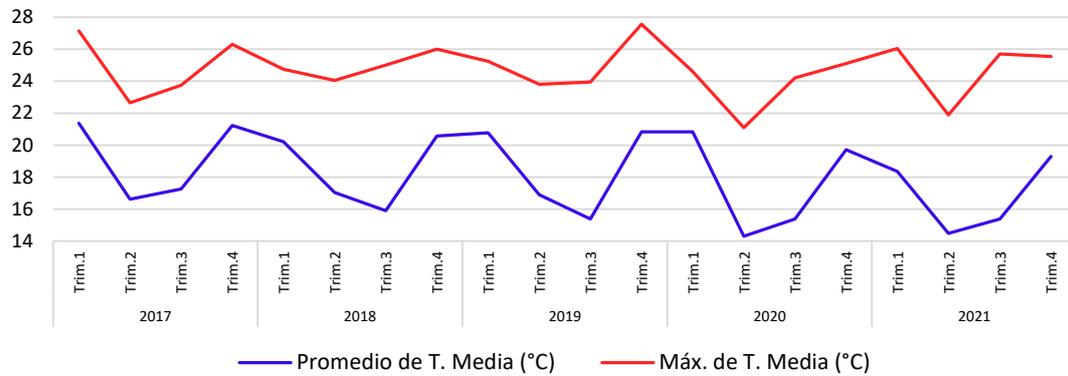


Nota. Mapas elaborados con capas .shp tomadas de GeoBolivia.

Las Figuras 4 y 5 muestran el resultado de la tendencia de las variables meteorológicas de temperatura media y humedad relativa media de la estación Tarija Aeropuerto una vez aplicado el ajuste lineal relacionando con las estaciones de El Tejar y San Andrés respectivamente. La Figura 6 muestra la tendencia de la velocidad media del viento.

Figura 4

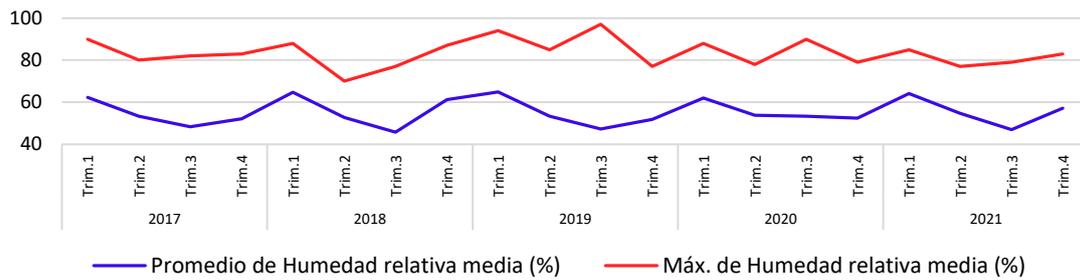
Tendencia de temperatura media en la estación meteorológica Tarija Aeropuerto



Nota. El valor del coeficiente de determinación obtenido previo a su generación es $R^2 = 0.9851$

Figura 5

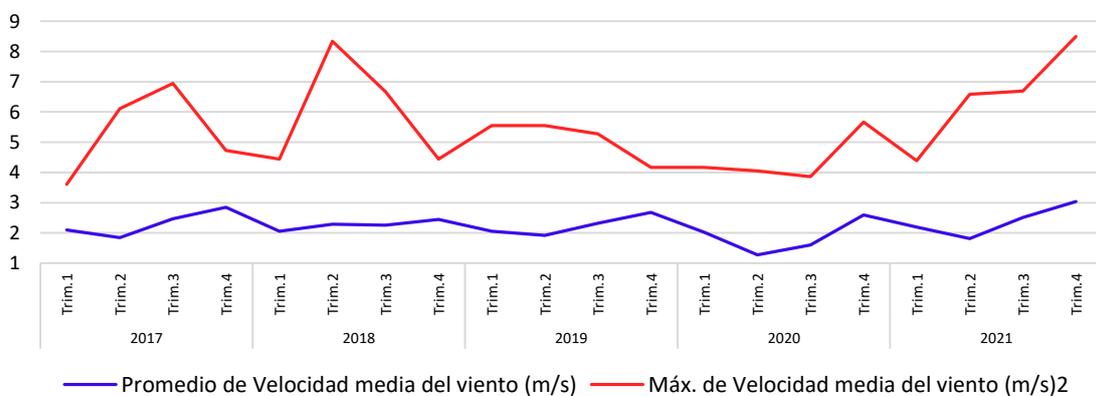
Tendencia de humedad relativa media en la estación meteorológica Tarija Aeropuerto



Nota. El valor del coeficiente de determinación obtenido previo a su generación es $R^2 = 0.9463$

Figura 6

Tendencia de velocidad media del viento en la estación meteorológica Tarija Aeropuerto



Nota. No se aplica la relación con otra estación meteorológica, debido a que se cuenta con los datos suficientes.

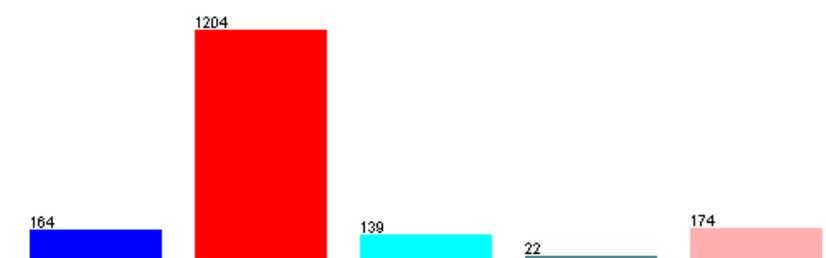
La cantidad de registros (instancias) disponible que cuentan con el resultado de confort climático por la relación de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento es de 1703. La Figura 7 muestra la distribución de las instancias agrupadas por el atributo Confort climático (variable Confort_clim).

Figura 7

Distribución de instancias agrupadas por el atributo de confort climático

Selected attribute				
Name: Confort_clim		Type: Nominal		
Missing: 0 (0%)		Distinct: 5		
		Unique: 0 (0%)		
No.	Label	Count	Weight	
1	Calido	164	164	
2	Agradable	1204	1204	
3	Frio	139	139	
4	Caluroso	22	22	
5	Muy_frio	174	174	

Class: Confort_clim (Nom) Visualize All



Nota. Generado con la herramienta Weka con datos de entrada ajustados

Se tiene un total de siete modelos RNA Perceptrón Multicapa, donde para todos los casos se considera una tasa de aprendizaje de 0.3, momento de entrenamiento 0.2 y número de épocas 500.

Asimismo, con respecto a la evaluación de los modelos de aprendizaje, se utiliza la técnica de validación cruzada, que consiste en el entrenamiento de k o pliegues (folds) de subconjuntos que componen el conjunto de datos y su evaluación con el subconjunto complementario, el primer pliegue en la primera iteración con el fin de probar el modelo, el segundo pliegue está destinado para probar el conjunto de los datos y otro pliegue para apoyar en el entrenamiento. Este proceso es iterativo hasta que se hayan completado todos los pliegues.

La Tabla 4 muestra el error obtenido por época clasificado por pliegues o folds por cada uno de los modelos entrenados.

Tabla 4*Determinación del error por época clasificado por pliegues o folds*

Modelo	Error por época					
	Fold 0	Fold 1	Fold 2	Fold 3	Fold 4	Fold 5
3-1-5	0.0667783	0.0665554	0.0671415	0.0657324	0.0673879	0.0673214
3-2-5	0.0430043	0.0419737	0.0445700	0.0417677	0.0432459	0.0445036
3-3-5	0.0352652	0.0340550	0.0369473	0.0334254	0.0386985	0.0389717
3-4-5	0.0309261	0.0304487	0.0321612	0.0284360	0.0316631	0.0310694
3-5-5	0.0277100	0.0279514	0.0290642	0.0279516	0.0311506	0.0298000
3-6-5	0.0287358	0.0274042	0.0287977	0.0266035	0.0297818	0.0271595
3-7-5	0.0260063	0.0270090	0.0261791	0.0241732	0.0276768	0.0265894

Nota. Tabulación de los resultados generados con la herramienta Weka. El formato del Modelo corresponde a E-O-S, que representa al número de neuronas por capa (Entrada-Oculto-Salida).

La Tabla 5 muestra el resultado, producto del análisis de la herramienta, las salidas asociadas al entrenamiento de cada uno de los modelos, donde, de acuerdo al mejor número de instancias clasificadas, además de otros factores detallados en la tabla, el modelo 3-6-5 es el más óptimo.

Tabla 5*Determinación del número de neuronas en la capa oculta del modelo de RNA*

Modelo	ICC	ICI	K	MAE
3-1-5	1380	323	0.4892	0.1335
3-2-5	1507	193	0.7340	0.0819
3-3-5	1527	176	0.7703	0.0639
3-4-5	1541	162	0.7925	0.0472
3-5-5	1556	147	0.8102	0.0447
3-6-5	1558	145	0.8120	0.0405
3-7-5	1554	159	0.7929	0.0421

Nota. Tabulación de los resultados generados con la herramienta Weka, donde ICC (Instancias Clasificadas Correctamente), ICI (Instancias Clasificadas Incorrectamente), CK (Coeficiente Kappa) y MAE (Error Absoluto Medio).

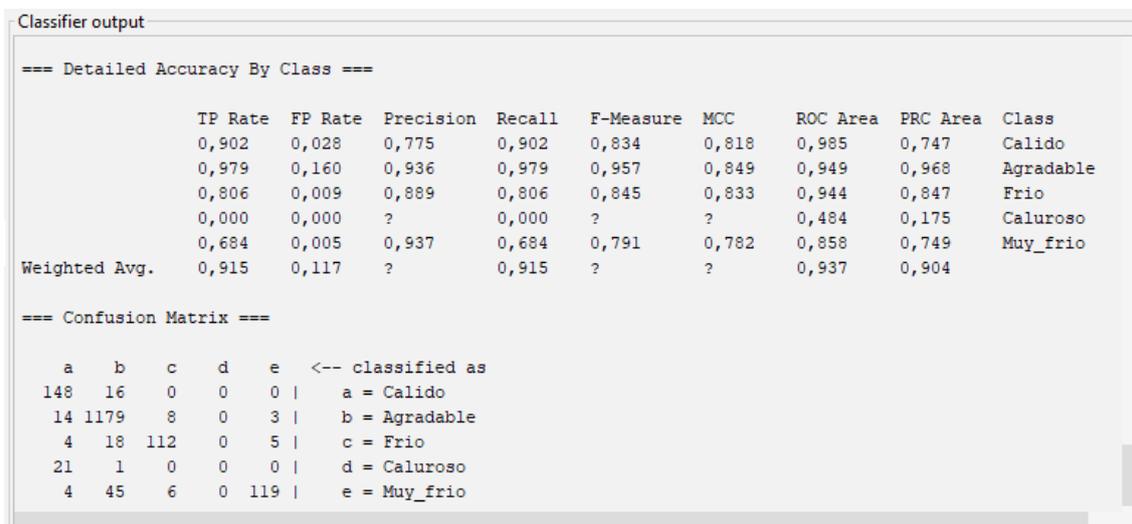
En este contexto, la Figura 8 muestra la salida de la clasificación del modelo 3-6-5, donde se tiene una matriz de la precisión detallada por clase y la matriz de confusión, que relaciona las instancias clasificadas correctamente de una clase en la diagonal principal,

Redes neuronales artificiales para la clasificación de variables que inciden en el confort climático

siendo las demás instancias que no se encuentran en esta diagonal, las que fueron clasificadas en otra clase.

Figura 8

Salida de clasificación del modelo 3-6-5

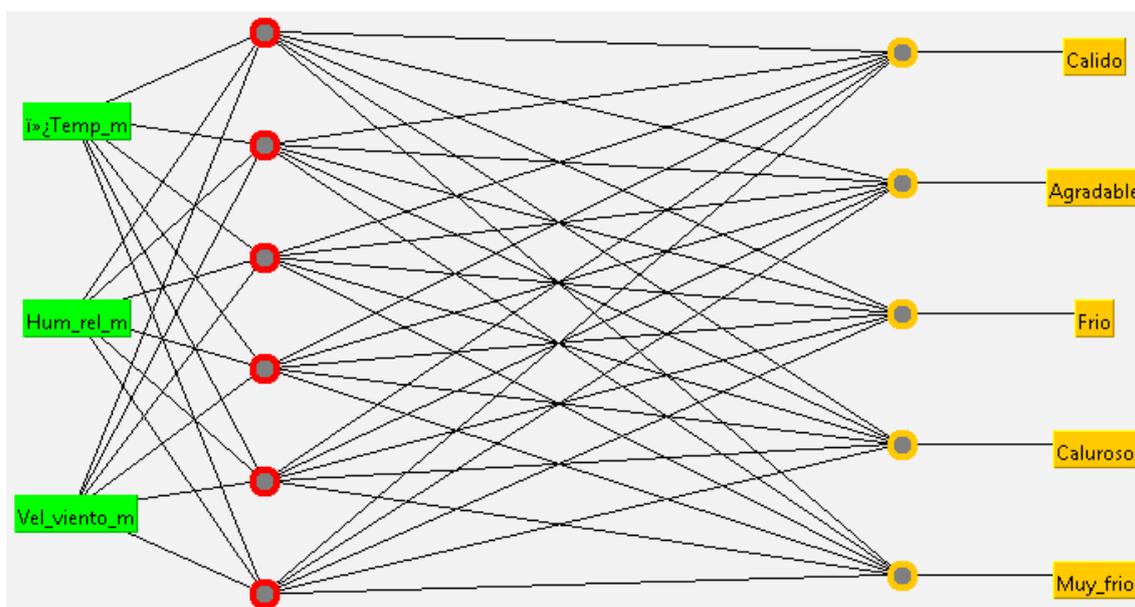


Nota. Resultado generado con la herramienta Weka.

La Figura 9 muestra la arquitectura RNA resultante del modelo 3-6-5, donde se aprecia claramente las neuronas consideradas.

Figura 9

Arquitectura RNA resultante del modelo 3-6-5

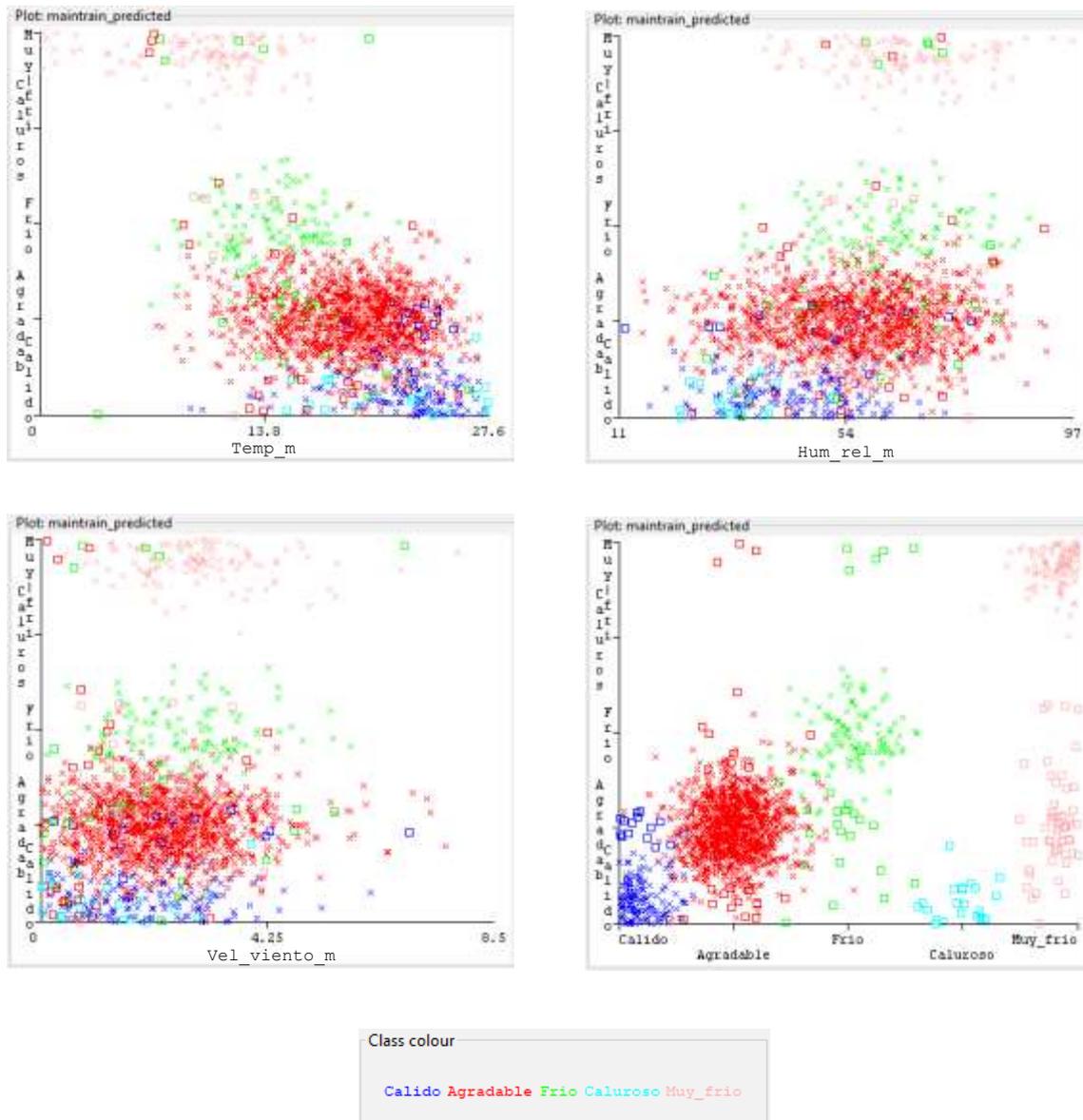


Nota. Resultado generado con la herramienta Weka.

Finalmente, la Figura 10 muestra la distribución de cada una de las variables e instancias clasificadas en función al confort climático determinado.

Figura 10

Clasificación de variables e instancias que inciden en el confort climático



Nota. Resultado generado con la herramienta Weka.

4. CONCLUSIONES

Una de las cualidades de la aplicación del modelo de red neuronal artificial Perceptrón Multicapa es el descubrimiento de patrones a través de la clasificación sobre un conjunto de datos de entrenamiento, que en este caso lo constituyen las variables que están

directamente relacionadas con el cálculo de confort climático basado en la metodología planteada por el IDEAM.

Por las características de los datos meteorológicos disponibles en el periodo de estudio para la ciudad de Tarija y la clasificación climática asociada al confort climático, el modelo que mejor se ajusta para la obtención de un mayor conjunto de instancias correctamente clasificadas, corresponde al modelo RNA de 3 neuronas en la capa de entrada, 6 neuronas en la capa oculta y 5 neuronas en la capa de salida.

En este contexto, el presente trabajo de investigación se constituye en una propuesta alternativa para la clasificación de variables meteorológicas, la cual puede ser optimizada incluyendo otras variables de interés y relacionándolas con una nueva clasificación climática en función al contexto geográfico de estudio.

5. LISTA DE REFERENCIAS

ESRI. (s.f.). *Qué es ArcMap*.

<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>

Fernández, R. (2021). *Series Temporales Avanzadas: Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para el Pronóstico de Series de Tiempo* [Tesis de maestría, Universidad de Granada]. https://masteres.ugr.es/estadistica-aplicada/sites/master/moea/public/inline-files/TFM_Fernandez%20SalgueroRicardo%20Alonzo.pdf

Ferrelli, F y Piccol, M. (2017). Estudio del confort climático a escala micro-local. El caso de Bahía Blanca (Argentina). *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 27(3), 91-100. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74853485010>

GeoBolivia. (2022). Infraestructura de Datos Espaciales del Estado Plurinacional de Bolivia. <http://geo.gob.bo/portal/>

Giraldo-Castañeda, W., Czajkowski, J. y Gómez, A. (2021). Confort térmico en vivienda social multifamiliar de clima cálido en Colombia. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(1), 115-124. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2938>

Gobierno Autónomo Departamental de Tarija (GADT). (2014). *Plan Departamental de Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático (2014-2018)*. <http://201.222.81.2/AnalisisNormativo/normasPDF/5934.pdf>

Gómez, N. (2012). *Estrategias para el Control Microclimático del espacio entre Edificaciones en Clima Cálido – Húmedo* [Tesis de doctorado, Universidad

- Politécnica de Madrid].
https://oa.upm.es/12266/1/NERSA_GOMEZ_DE_PEROZO.pdf
- Gutiérrez, F. (2014). Predicción Espacio-Temporal de la Irradiancia Solar Global a Corto Plazo en España mediante Geoestadística y Redes Neuronales Artificiales [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid].
http://oa.upm.es/34145/1/Federico_Vladimir_Gutierrez_Corea.pdf.
- Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria). (2021). *Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la ciudad de Tarija, Bolivia*. Corporación Andina de Fomento (CAF).
<http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1815>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (diciembre de 1998). *Metodología para el Cálculo del Confort Climático en Colombia*. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/007574/Metodologiaconfort.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (s.f.). *Conceptos Básicos de Cambio Climático*. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (febrero de 2015). *Censo de Población y Vivienda 2012 Bolivia. Características de la Población*.
<http://saludpublica.bvsp.org.bo/cc/bo40.1/documentos/711.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (4 de julio de 2016). *240 mil habitantes viven en la ciudad de Tarija* [Nota de prensa].
<https://www.ine.gob.bo/index.php/descarga/373/boletines/42456/240-mil-habitantes-viven-en-la-ciudad-de-tarija.pdf>
- Jiménez, O. (2008). Índice de confort de la vegetación. *Revista Universidad Antonio Nariño*, 49-70. <https://core.ac.uk/download/pdf/236383056.pdf>
- Martínez, R. (2014). *Metodologías Basadas en Minería de Datos para el Diseño y Optimización de Técnicas de Clasificación Automática* [Tesis de doctorado, Universidad de Murcia].
<https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/42697/1/TesisDoctoralRaquelMartinez.pdf>

- Picone, N. y Campo, A. (2016). Análisis del confort climático en la ciudad de Tandil, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 57(1), 114-127. <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347746068007.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (s.f.). *Información Nacional de Datos Hidrometeorológicos*. <http://senamhi.gob.bo/index.php/sysparametros>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (s.f.). *Manual Práctico de Terminología Meteorológica e Hidrología para la Difusión Masiva del Dato y su Uso en la Gestión del Riesgo. Proyecto BOL/59514*. [https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manual de terminologia/Manual de terminologia.pdf](https://www.senamhi.gob.bo/publicaciones/Manuales/Manual%20de%20terminologia/Manual%20de%20terminologia.pdf)
- Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE). (6 de junio de 2022). *ASHRAE Terminology: A Comprehensive Glossary of Terms for the Built Environment*. <https://xp20.ashrae.org/terminology/>
- Tanana, A., Ramos, M., Gil, V. y Campo, A. (2021). Confort climático y turismo. Estudio aplicado a diferentes niveles de resolución temporal en Puerto Iguazú. *Estudios Geográficos*, 82(290), 1-17. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202076.076>
- Vivas, H. (2014). *Optimización en el entrenamiento del Perceptrón Multicapa* [Tesis de maestría, Universidad del Cauca]. <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/bitstream/handle/123456789/582/OPTIMIZACION%20EN%20EL%20ENTRENAMIENTO%20DEL%20PERCEPTRON%20MULTICAPA.p.pdf?sequence=1&isAllowed=y>