

Estimación de temperatura y humedad relativa en Venezuela mediante redes neuronales

Estimating of temperature and relative humidity in Venezuela through neural network

L.A. Rosario*, E.J. Pereyra M., J.C. Vielma S.
Escuela de Mecánica, Facultad de Ingeniería, ULA.
Mérida 5101, Venezuela
*rosariol@ing.ula.ve

Resumen

En este artículo se presentan los resultados obtenidos, utilizando redes neuronales, para la estimación de temperatura, humedad relativa media anual y condiciones de diseño en instalaciones de aire acondicionado para Venezuela, a partir de la altitud y la localización geográfica. Las estimaciones se realizaron utilizando un promedio anual, entre los años 1989 y 1998 de las estaciones pertenecientes a la Fuerza Aérea Venezolana.

Palabras Claves: Redes neuronales, clima, temperatura, humedad relativa, refrigeración y aire acondicionado

Abstract

The aim of this paper is to present estimations about climatic conditions in Venezuela by using a neural network model. These conditions include values of dry-bulb temperature, relative humidity based on a yearly average. These values are calculated using the altitude and the geographical localization. The estimates were carried out by using an annual average, from 1989 to 1998, in various locations taken from weather stations that belong to the Fuerza Aérea Venezolana. This information is commonly used for design, sizing, distribution, installation, and marketing air-conditioning equipment; as well as for other energy-related processes in residential, agricultural, commercial and industrial applications.

Key words: Neurals network, climate, temperature, humidity ratio, refrigeration and air conditioning

1 Introducción

Conocer con certeza las condiciones climáticas de una región es un elemento muy importante en diversos campos de la geografía y de la ingeniería; para el Ingeniero Mecánico, por ejemplo, esta información representa un factor crítico al momento de calcular la carga térmica para realizar el diseño de sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

En países como Venezuela, donde no existen grandes recursos económicos, se carece de información suficiente acerca de las condiciones climáticas, debido a la escasez de estaciones meteorológicas a lo largo y ancho del país; todo esto conlleva a que no exista un criterio unificado, que coloque a todos los proyectos de ambientes acondicionados en igual punto de partida, desde la óptica de las condiciones exteriores de diseño, produciéndose en algunos casos, una excesiva utilización de energía o, en otros casos, una pérdida de la inversión cuando el sistema no es capaz de alcanzar

la zona de confort.

Las redes neuronales han dado excelentes resultados en el campo de la estimación y predicción a partir de ciertos datos de entrada que proporcionan información útil del proceso en estudio. (Colina, E. Y Rivas, F. 1998).

El objetivo planteado se centró en adaptar un modelo de redes neuronales para la estimación de condiciones de diseño exterior para sistemas de refrigeración y aire acondicionado en Venezuela, enfocado primordialmente en la estimación de temperatura y humedad relativa. Además, siendo la altitud, la longitud y la latitud, variables correspondientes a una localidad, que pueden ser fácilmente obtenidas, y cuyo valor no depende de cambios en el tiempo, éstas se escogieron como variables de entrada para la red neuronal.

Los resultados de esta red, pueden ser utilizados para estandarizar las condiciones exteriores dentro del país, a ser utilizadas por los diseñadores de ambientes acondicionados,

de tal manera que todos los proyectos se diferencien sólo por las capacidades del diseñador y no por una elección de un parámetro climático errado.

2 Antecedentes

La estimación de temperatura y humedad relativa no es tarea fácil, en el pasado se hicieron estudios detallados para determinar la influencia de diversos factores sobre la temperatura y humedad relativa, encontrándose lo siguiente:

- ☑ El Ministerio de Obras Públicas, recomendó que para encontrar las condiciones de temperatura y humedad relativa se podía realizar una interpolación entre Maracaibo y el Valle de Caracas utilizando como base la altura respectiva sobre el nivel del mar. (Ministerio de Obras Públicas, 1962).
- ☑ NASA, reveló la existencia de una relación lineal decreciente entre la temperatura y la altitud a través de la troposfera. (ASHRAE, 1997).
- ☑ El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, indica la posibilidad de calcular la temperatura y humedad relativa media anual exclusivamente en función de la altitud, existiendo ciertas excepciones según la exposición de la radiación solar del lugar en los primeros 100 mts. de altura sobre el nivel del mar. (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, 1980).
- ☑ La Unión Geográfica Internacional, revela que lo característico de la amplitud de las fluctuaciones de la temperatura en el siglo XX es que está directamente relacionada con la latitud geográfica. Las fluctuaciones anuales en las latitudes medias no excedieron de $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$, y más al norte de $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$, y en las latitudes altas de $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$. (Kotlyakov V, 1999).

3 Principales factores que afectan el clima

De acuerdo a la Enciclopedia Salvat. (Conocer Venezuela, 1998), los principales factores que afectan el clima en Venezuela son:

3.1 La isotermita

Por su ubicación geográfica, Venezuela se encuentra más cerca del ecuador que del trópico de Cáncer, por lo que la duración de los días y las noches es casi la misma, trayendo como consecuencia que sus tipos de clima son isotermita, es decir con temperatura que no varían mucho entre el mes más frío y el más caliente, registrándose una oscilación máxima anual de unos 5°C , por el contrario la oscilación diaria es muy acentuada, y muchas veces excede los 15°C .

3.2 Las masas de aire

De acuerdo con la latitud, Venezuela se encuentra en tres zonas diferentes según las masas de aire que en ellas actúan:

1. Una Zona Sur, mas o menos hasta los $6^{\circ}30'$ de la latitud norte, la cual se encuentra durante casi todo el año bajo la influencia de aire ecuatorial continental. A estas masa de aire las caracterizan su baja presión la cual se ve acentuada por las altas temperaturas, y en ellas convergen los vientos alisios del noreste y sureste. Por esta característica el aire aquí asciende constantemente provocando la condensación de la humedad y altos niveles de pluviosidad (cercaos al 82% del total del agua producida por las precipitaciones del país) a lo largo de todo el año. En esta región no existe periodo de lluvia y verano, solo un descenso de las precipitaciones en los meses de enero y febrero. Esta zona la abarca todo el Territorio Federal Amazonas y el sur del estado Bolívar.
2. Una Zona Central, entre los $6^{\circ}30'$ de la latitud norte y la cordillera de Mérida que sirve de barrera a las masas de aire de la capa inferior de la troposfera. Esta zona presenta un periodo lluvioso desde abril o mayo hasta septiembre u octubre, provocado por la extensión de las masas ecuatorial hasta los 10° de latitud norte, durante el verano para el hemisferio boreal. Los seis meses restantes se encuentran bajo la influencia de los vientos alisios del noroeste, trayendo como consecuencia el periodo seco. Esta zona la integra: el estado Bolívar, los Llanos, la vertiente oriental de la Cordillera de Mérida y la vertiente sur de la Cordillera de Costa.
3. Una Zona Norte, al norte de los 10° de latitud norte y al oeste de la cordillera de Mérida, constantemente bajo la influencia de los vientos alisios o masa de aire tropical marítimas del Atlántico Norte y por tanto con escasez de lluvias en las zonas bajas como las llanuras litorales o la depresión de Barquisimeto y Carora y con abundantes precipitaciones, allí donde la geografía ayuda a los alisios a subir por las laderas de los montes.

Como conclusión, se puede decir, que las masas de aire que actúan en Venezuela son diferentes de acuerdo con la latitud, y en consecuencia el clima también es diferente.

3.3 La altitud

Es uno de los principales factores que inciden en las condiciones climáticas en Venezuela, de acuerdo con este factor tenemos varios pisos térmicos cuya clasificación varía dependiendo del autor y la principal dificultad es la ubicación de un limite, ya que estos pueden presentar variaciones mas o menos fuertes dependiendo de la localidad, características del relieve, a la exposición a la insolación y a la influencia a las masas de aire.

Además de estas diferencias en las condiciones climáticas del país, dentro de cada gran región se presentan divergencias espaciales y temporales en el comportamiento de los parámetros climáticos.

También existen otras variables que pueden afectar

notablemente el clima, tal como el índice de pluviosidad, pero este valor es difícil de obtener con cierta exactitud, y solo se contaría con un intervalo para la región.

4 Redes neuronales

Las redes neuronales artificiales, son modelos matemáticos diseñados para emular algunas de las capacidades computacionales del cerebro humano. Entre las características más importantes se encuentra su capacidad de aprender, por el ajuste de sus ponderaciones de interconexión. Sus principales características son: aprendizaje mediante adaptación de sus pesos sinápticos a los cambios en el entorno, memoria distribuida, manejo de imprecisión, ruido e información probabilística y generalización a partir de ejemplos. (Mosquera, A., 1999).

Los principales aspectos de este modelo son los siguientes:

- ☑ Un conjunto de unidades de procesamiento (neuronas artificiales).
- ☑ Una entrada externa para cada unidad o entrada constante (X_{i+1}).
- ☑ Conexiones entre unidades, generalmente definidas por un peso.
- ☑ Una regla de propagación que determina la entrada total de la unidad a partir de sus entradas externas.
- ☑ Una función de activación que determina el estado de activación en función de la entrada total de la unidad. Esta es la característica que mejor define el comportamiento de la misma.
- ☑ Un estado de activación para cada unidad, que es equivalente a la salida de la unidad. El valor de salida cumpliría la función de la tasa de disparo en las neuronas biológicas
- ☑ Una regla de entrenamiento o aprendizaje, que es un método para modificar los valores de los pesos y controlar los pesos y/o estados de las neuronas.
- ☑ Un entorno de trabajo en el que sistema opere, compuesto por señales de entrada y, si es necesario, señales de error.

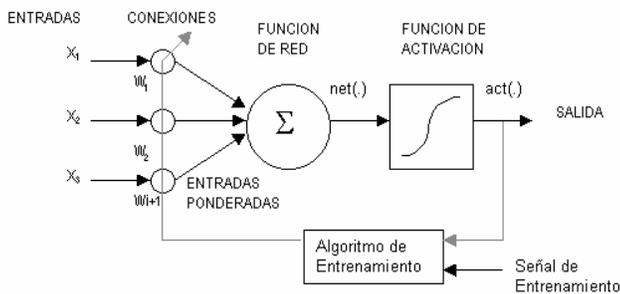


Fig. 1. Red neuronal artificial o adaptativa

El aprendizaje es un proceso de adaptación al entorno, una definición de aprendizaje en redes neuronales podría ser la siguiente: Proceso por el cual los parámetros libres de una red neuronal son ajustados a través de un proceso con-

tinuo de estimulación por parte del entorno en donde se sitúa el sistema. En las redes neuronales la esencia del aprendizaje se encuentra en la modificación colectiva de los pesos de los elementos de procesamiento.

El aprendizaje requiere la presentación repetida de un número relativamente amplio de ejemplos de entrenamiento hasta lograr una respuesta satisfactoria del sistema. Una vez que la red ha aprendido, es decir, que responde de manera satisfactoria frente a los ejemplos de entrenamiento, se le pueden presentar nuevos datos de entrada.

5 Metodología empleada

5.1 Normalización de variables de entrada y salida

Al momento de entrenar la red, se hace necesaria la normalización de las variables de entrada y salida, ya que las mismas suelen oscilar entre diferentes magnitudes, creando un inconveniente adicional para la convergencia del método en entrenamiento, la Tabla 1 resume los rangos y las relaciones utilizadas para normalizar las variables:

Tabla 1. Normalización de variables

Variable	Mínimo	Máximo	Relación
Temperatura	15 °C	30 °C	$T = \frac{\text{Temperatura} - 15}{30 - 15}$
Humedad Relativa	65%	90%	$HR = \frac{\text{HumedadRelativa} - 65}{90 - 65}$
Altitud	0 msnm	1800	$A = \frac{\text{Altura}}{1800}$
Latitud	4°	12°	$La = \frac{\text{Latitud} - 4}{12 - 4}$
Longitud	60°	73°	$Lon = \frac{\text{Longitud} - 60}{73 - 60}$

Donde:

- A = Altura sobre nivel del mar Normalizada
- Altura = Altura sobre el nivel del mar (m)
- Lon = Longitud Normalizada
- Longitud = Longitud 0 de Greenwich (°)
- La = Latitud Normalizada
- Latitud = Latitud Norte (°)
- T = Temperatura Normalizada
- Temperatura = Temperatura (° C)
- HR = Humedad Relativa Normalizada
- HumedadRelativa = Humedad Relativa (%)

5.2 Selección de Datos para Entrenamiento y Validación

Es usual disponer de un conjunto de datos distintos a los usados para el entrenamiento, para los cuales se sabe cual es la respuesta correcta, y se usan como test para ver si

la red responde adecuadamente frente a datos distintos a los usados durante el aprendizaje, si es así, se considera que la red funciona bien y puede pasar a la fase de aplicación, es decir, se puede usar para obtener un resultado frente a datos totalmente nuevos para los que no se conoce la respuesta correcta.

Para esta investigación se contó con un total de 36 datos, pertenecientes a las diferentes estaciones de la Fuerza Aérea Venezolana. La selección de datos para entrenamiento y validación se realizó utilizando una muestra estratificada, después de dividir el mapa del país en 22 sectores de igual latitud y longitud (ver Fig. 2) y ubicar sobre éste los puntos de acuerdo a la ubicación geográfica correspondiente.

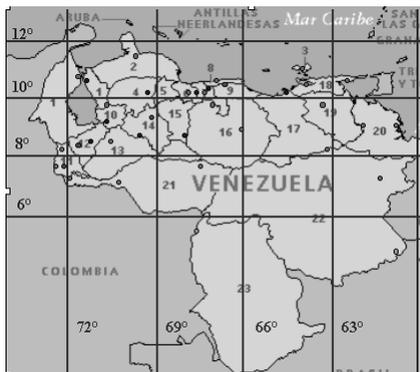


Fig. 2. Mapa de normalización de variables.

5.3 Modelos por redes neuronales

Para cada una de las variables a estimar se utilizó una topología de red diferente:

5.3.1. Topología de red para la temperatura

En los antecedentes se planteó que la temperatura posee una fuerte correlación lineal con respecto a la altura, por lo tanto, se partió de la utilización del siguiente modelo lineal para estimar la temperatura en función de la altura:

$$T = -0,006 \times A + 27,55 + \epsilon \quad (1)$$

Donde:

T = Temperatura Promedio (°C)

A = Altura (m.s.n.m).

ϵ = Diferencia entre la temperatura real y la estimada (coeficiente de variación estocástica).

Luego se procedió a estimar el valor del coeficiente de variación estocástica (ϵ) por medio de una red neuronal, cuyas entradas son la altura, la latitud y la longitud, tal como se muestra en la Fig. 3. De esta se mejoró el valor obtenido por medio de la regresión lineal.

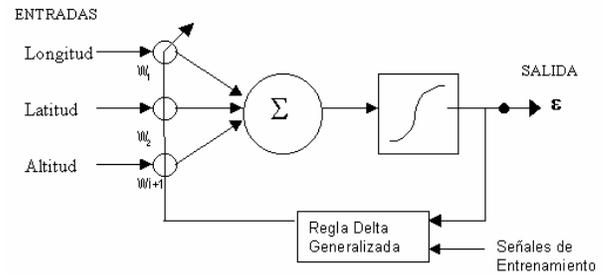


Fig. 3. Esquema del modelo neuronal utilizado para la estimación de la Temperatura Media

La topología de la red obtenida para la estimación de la temperatura media se resume en la Tabla 2.

Tabla 2. Topología para estimación de la temperatura media

Neuronas por Capa	Capa 1: 13 neuronas Capa 2: 6 neuronas Capa 3: 1 neurona
Funciones de Activación	Sigmoide unipolar
Algoritmo de Entrenamiento	Regla Delta Generalizada
Factor de Momento	0,95
Constante de Aprendizaje	0,0002
Ciclos de Entrenamiento	100.000

5.3.2 Topología de red para la humedad relativa

Para la estimación de la Humedad Relativa Media, se entrenó una red como se muestra en la Fig. 4., teniendo como entradas la latitud, longitud y altitud de la localidad. La topología de la red se presenta en la Tabla 3.

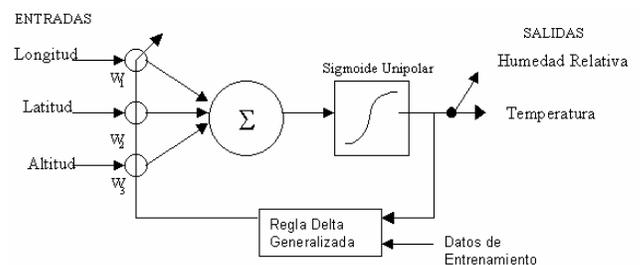


Fig. 4. Esquema del modelo neuronal utilizado

Tabla 3. Topología para estimación de la humedad relativa media

Neuronas por Capa	Capa 1: 10 neuronas Capa 2: 6 neuronas Capa 3: 10 neuronas Capa 4: 2 neuronas
Funciones de Activación	Sigmoide unipolar
Algoritmo de Entrenamiento	Regla Delta Generalizada
Factor de Momento	0,95
Constante de Aprendizaje	0,0002
Ciclos de Entrenamiento	500.000

A pesar que en esta red neuronal también se obtiene como salida la temperatura, los errores obtenidos a partir de ella, no superan a los aportados por la primera topología, esta temperatura sólo sirve para una mejor convergencia de la humedad relativa, ya que estas dos variables se encuentran físicamente muy ligadas.

5.4 Cálculo de las condiciones de diseño

5.4.1 Rango medio diario de temperatura y humedad relativa

Se realizó un ajuste polinomial en base a las condiciones medias estimadas a través de redes neuronales y la altitud, utilizando los datos promedio F.A.V., de los años 1960-1990. (Marturet, G., 1992)

5.4.2 Temperatura media máxima y humedad relativa mínima

Estas variables se calcularon en base a los rangos medios diarios, de la siguiente manera:

$$T_d = T + R_d T \quad (2)$$

$$HR_d = HR + R_d HR \quad (3)$$

Donde:

- T_d = Temperatura de diseño (°C)
- T = Temperatura estimada por modelo neuronal (°C)
- R_dT = Rango diario de Temperatura (°C)
- HR_d = Humedad Relativa de diseño (%)
- HR = Humedad Relativa estimada por modelo neuronal (%)
- R_dHR = Rango diario de Humedad Relativa (%)

5.4.3. Mes de diseño

Se entrenó una red neuronal multicapa, que tuvo como entradas la Latitud y la Longitud de la localidad, y el Mes de Temperatura Máxima como salida. La topología empleada se resume en la Tabla 4.

Tabla 4 Topología para estimación del mes de diseño

Neuronas por Capa	Capa 1: 23 neuronas Capa 2: 2 neuronas Capa 3: 1 neurona
Funciones de Activación	Capas 1, 2: Tangente hiperbólica Capa 3: Sigmoide unipolar
Algoritmo de Entrenamiento	Regla Delta Generalizada
Factor de Momento	0,95
Constante de Aprendizaje	0,0002
Ciclos de Entrenamiento	50.000

6 Resultados

Los errores absolutos medios porcentuales obtenidos para cada una de las variables en estudio se resumen en las Tablas 5 y 6.

Tabla 5. Errores de entrenamiento, validación y absolutos promedio para la temperatura y humedad relativa media

Variables	Error de Entrenamiento (%)	Error de Validación (%)	Error Absoluto Promedio (%)
Temperatura	2,3	1,2	2,0
Humedad Relativa	0,8	1,5	0,9

Tabla 6. Errores de absolutos promedio para las condiciones de diseño

Variables	Error Absoluto Promedio (%)
Rango Diario de Temperatura	8,3
Rango Diario de Humedad Relativa	13,5
Mes de Máxima Temperatura	8,3

Con respecto a la Tabla 6, a pesar de que los errores parecen elevados, sólo corresponden a las siguientes variaciones: $\Delta T = 0,8^\circ\text{C}$ para el rango diario de temperatura, $\Delta HR = 2,6\%$ para el rango diario de humedad relativa y un $\Delta \text{Mes} = 1$ en el 24% de los casos.

7 Conclusiones

Se pudo comprobar la potencialidad y efectividad que tiene la aplicación de los modelos basados en redes neuronales para estimar temperaturas y humedades relativas, debido a la facilidad que éstas presentan para adaptarse a funciones complejas y de esta manera poder extrapolar valores, por su sistema de interconexiones dinámicas y paralelas, que hace posible un rápido aprendizaje, lo cual brinda una gran ventaja frente a otros métodos clásicos utilizados para la estimación.

8 Recomendaciones

A pesar de que los datos obtenidos utilizando los modelos mediante redes neuronales fueron muy satisfactorios, se recomienda usarlos en la estimación de temperaturas y humedades relativas para latitudes norte comprendidas entre 6° y 12° , puesto que no se dispuso de información suficiente acerca de las condiciones climáticas para otras zonas del país, por tanto, la extrapolación de resultados podría resultar inadecuada.

Este trabajo representa sólo un primer paso en este campo, es decir abre una puerta para continuar con el estudio de este tema, a un nivel mayor de detalle, por ejemplo

hacer uso de redes neuronales entrenándolas por regiones, de acuerdo al tipo de clima ó por pisos térmicos, es posible que los resultados obtenidos en estos casos sean mejores aún que los presentados en este artículo, lo cual abre una puerta para el desarrollo de trabajos sobre este tema con mayor detalle.

Referencias

ASHRAE. 1997. *Fundamentals Handbook*. Chapter 6: Psychrometrics. p. 6.2
Colina, E. Y Rivas, F. 1998. *Introducción a la Inteligencia Artificial*. Facultad de Ingeniería. Postgrado de Automatización y Control. ULA. Mérida – Venezuela.
Enciclopedia Salvat. 1998. *Conocer Venezuela*. Tomo 3.

Salvat Editores Venezolana, S.A. Caracas Venezuela.
Kotlyakov, V. 1999. El Cambio Climático y el Futuro del Entorno Humano.
Marturet, G. 1992. *Determinación de las Condiciones Exteriores de diseño para Aire Acondicionado en Venezuela*. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Mecánica.
Ministerio de Obras Públicas. 1962. *Instrucciones para la Instalación de Aire Acondicionado y Ventilación*. Dirección de Edificios. Caracas - Venezuela. p. 232
Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. 1980. *Atlas de Venezuela*. Dirección General de Información e Investigación del Ambiente. Caracas – Venezuela. p.188
Mosquera, A. 1999. Temas sobre Redes Neuronales.