

### **Lista de cotejo Protocolo de Investigación**

**Nombre asignatura:** Taller de Investigación I

**Nombre del proyecto:** Implementación de un Modelo de RNA para Predecir Inundaciones en la Ciudad de Catemaco

**Nombre del alumno:** EMMANUEL DE JESÚS TEOBAL DÍAZ

**Nombre del docente:** Dra. Verónica Guerrero Hernández

---

<b>Elementos de un protocolo de investigación</b>		<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>60</b>	
<b>Título del proyecto</b>					
Contiene no más de 10 a 15 palabras como máximo				3	
La redacción es clara				3	
<b>Planteamiento del Problema</b>					
Contiene la situación actual que demuestran que el problema existe				5	
Se identifica y menciona la síntomas y causa que provoca el problema				3	
El estudio aborda una pregunta de investigación relevante y original				3	
<b>Objetivos</b>					
Explica claramente el objetivo del estudio				4	
Los objetivos están redactados con el verbo en infinitivo				3	
Los objetivos específicos permiten lograr el objetivo general				3	
<b>Marco teórico</b>					
La explicación de cada artículo del estado del arte se relaciona con el proyecto propuesto.				5	
Se realizaron investigaciones de proyectos similares				5	
<b>Resultados esperados</b>					
Menciona de manera clara los resultados esperados				5	
Aporta algo nuevo al campo de estudio				3	
¿El protocolo parece factible en términos de tiempo, recursos y logística?				3	
¿Se han considerado posibles obstáculos y cómo superarlos?				3	
<b>Calidad de la presentación</b>					
¿El presentador utiliza una presentación visual clara y efectiva?				3	

¿Se maneja bien el tiempo y se responde adecuadamente a las preguntas?			3
¿El estudio tiene el potencial de generar un impacto significativo en su campo?			3
<b>Observaciones</b>			



# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SAN ANDRÉS TUXTLA

---

---

## INGENIERÍA INFORMÁTICA

“Implementación de un Modelo de RNA para Predecir Inundaciones en la Ciudad de Catemaco.”.

## PROYECTO FINAL

Taller de Investigación I

Presenta

**EMMANUEL DE JESÚS TEOBAL DÍAZ**

Profesor

*Dra. Verónica Guerrero Hernández*



San Andrés Tuxtla, Veracruz

Diciembre, 2025

## Resumen

El municipio de Catemaco, ubicado en la región húmeda de Los Tuxtlas, enfrenta inundaciones recurrentes durante temporada de lluvias, ocasionando daños materiales, pérdidas económicas y riesgos para la población. Este problema evidencia la necesidad de contar con herramientas predictivas que permitan anticipar zonas vulnerables y planificar medidas de prevención.

El proyecto propone desarrollar un modelo predictivo basado en Redes Neuronales Artificiales (RNA) para identificar áreas con alta probabilidad de inundación. Para ello, se recopilarán datos climáticos, topográficos e históricos del municipio, los cuales serán procesados para entrenar un modelo capaz de reconocer patrones de riesgo. Los resultados se integrarán en **QGIS**, generando mapas temáticos que muestren zonas vulnerables, niveles de riesgo, características del terreno y patrones de acumulación de agua. Además, se explorará la posibilidad de usar la IA para sugerir ubicaciones óptimas de drenajes y captadores pluviales, apoyando así la gestión urbana del agua.

El marco teórico demuestra, mediante estudios previos, que las RNA han superado a los modelos físicos tradicionales en predicción de fenómenos hidrológicos, gracias a su capacidad para manejar relaciones complejas y no lineales. También se observa que las técnicas de deep learning y los modelos híbridos han tenido éxito en predicciones hidrológicas, climáticas y agrícolas.

Metodológicamente, la investigación es cuantitativa, aplicada, descriptiva y exploratoria, pues analiza datos numéricos del territorio, busca resolver un problema real, describe el comportamiento espacial del riesgo y explora el uso de IA en un contexto poco estudiado localmente. La población corresponde a todo el territorio susceptible a inundaciones y la muestra se define según la disponibilidad de datos geoespaciales confiables, utilizando celdas raster y polígonos como unidades de análisis.

En conjunto, el proyecto busca ofrecer una herramienta innovadora, práctica y tecnológicamente sólida para mejorar la planeación urbana, reducir riesgos y fortalecer la gestión del agua en Catemaco.

## **Contenido**

<b>Introducción .....</b>	5
<b>1.1 Planteamiento del problema .....</b>	7
<b>1.2 Formulación del problema .....</b>	7
<b>1.3 Hipótesis .....</b>	7
<b>1.4 Objetivos.....</b>	7
<b>1.4.1 Objetivo general.....</b>	7
<b>1.4.2 Objetivos específicos .....</b>	7
<b>1.5 Justificación .....</b>	8
<b>2.1 Estado del arte.....</b>	10
<b>2.2 Marco conceptual.....</b>	12
<b>3.1 Enfoque de la investigación.....</b>	16
<b>3.2 Tipo de la investigación.....</b>	17
<b>Investigación cuantitativa .....</b>	17
<b>Investigación aplicada.....</b>	17
<b>Investigación descriptiva .....</b>	18
<b>Investigación exploratoria.....</b>	18
<b>3.4 Población .....</b>	19
<b>3.5 Muestra .....</b>	19
<b>3.5.1 Justificación de la muestra .....</b>	20
<b>3.5.2 Unidades de análisis.....</b>	20
<b>Resultados esperados .....</b>	22
<b>4.1 Modelo predictivo funcional basado en Redes Neuronales Artificiales (RNA).....</b>	22
<b>4.2 Generación de mapas temáticos en QGIS .....</b>	22
<b>4.3 Identificación de las zonas críticas con mayor probabilidad de inundación.....</b>	22
<b>4.4 Validación del modelo con datos históricos .....</b>	23
<b>4.5 Base de datos geoespacial integrada y estandarizada .....</b>	23
<b>4.6 Propuesta técnica para la gestión urbana del agua .....</b>	23
<b>4.7 Evidencia de la viabilidad de usar IA en problemas de gestión ambiental .....</b>	24
<b>Referencias .....</b>	1

**Índice de tablas**

Tabla 1 Cronograma de Actividades .....	1
---	---

**Índice de figuras**

Figura 1 Mapa Conceptual .....	14
--------------------------------	----

## **Introducción**

La ciudad de Catemaco, ubicada en la región de Los Tuxtlas, presenta inundaciones recurrentes durante la temporada de lluvias, afectando viviendas, comercios e infraestructura urbana. Este fenómeno, influido por factores climáticos y topográficos, representa un riesgo constante para la población y limita la capacidad de respuesta de las autoridades.

Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar herramientas tecnológicas que permitan anticipar escenarios de riesgo y mejorar la planeación urbana. En este contexto, las Redes Neuronales Artificiales (RNA) ofrecen un enfoque innovador para analizar datos ambientales y predecir zonas susceptibles de inundación.

El presente proyecto propone el diseño de un modelo predictivo basado en IA, complementado con la generación de mapas de riesgo mediante QGIS, con el propósito de identificar áreas vulnerables y apoyar la toma de decisiones en materia de gestión del territorio. Esta investigación busca demostrar la viabilidad del uso de modelos inteligentes como apoyo en la prevención de desastres y en la mejora de la infraestructura pluvial del municipio.

# CAPITULO 1

# GENERALIDADES

## **1.1 Planteamiento del problema**

La ciudad de Catemaco, ubicada al sur del estado de Veracruz, se localiza dentro de la Sierra de Los Tuxtlas, una región caracterizada por su clima cálido-húmedo y una precipitación anual promedio entre 1,900 y 2,038 mm.

Durante los meses de junio a octubre, las lluvias intensas provocan inundaciones recurrentes en el centro de la ciudad y sus alrededores. Estas inundaciones generan daños materiales, pérdidas económicas y, en algunos casos, víctimas humanas. Además, implican altos costos de mantenimiento en la red de drenaje, evidenciando la necesidad de una gestión preventiva más eficiente.

Ante esta situación, surge la necesidad de desarrollar un modelo predictivo que permita identificar zonas de riesgo antes de que ocurran los eventos, facilitando la toma de decisiones en materia de planeación urbana y mitigación de desastres.

## **1.2 Formulación del problema**

¿De qué forma el uso de la IA permite predecir y con qué precisión el comportamiento de estos fenómenos meteorológicos?

## **1.3 Hipótesis**

Un modelo de redes neuronales artificiales permite predecir con precisión aceptable las zonas de inundación en Catemaco y representarlas en QGIS como mapas de riesgo.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar la viabilidad de implementar un modelo de redes neuronales artificiales para predecir zonas de inundación en la ciudad de Catemaco, representándolas en mapas mediante SIG de uso libre (QGIS), y explorar su potencial para sugerir ubicaciones estratégicas de drenajes o captadores pluviales.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Recopilar y procesar información topográfica, climática e histórica de inundaciones en Catemaco.
- Diseñar y entrenar un modelo de redes neuronales artificiales capaz de identificar patrones de riesgo.
- Integrar los resultados en QGIS para visualizar zonas vulnerables.

- Evaluar la precisión del modelo mediante comparación con datos históricos.
- Explorar la aplicación de IA para proponer ubicaciones óptimas de infraestructura pluvial.

## 1.5 Justificación

La aplicación de modelos de Redes Neuronales Artificiales (RNA) representa una alternativa innovadora y factible para anticipar zonas de riesgo de inundación, permitiendo generar mapas de predicción integrados en plataformas SIG como QGIS. Esta metodología no solo contribuye a una mejor planeación urbana y a la prevención de desastres, sino que también proporciona una herramienta tecnológica de apoyo para la toma de decisiones por parte de autoridades municipales y organismos de protección civil.

La investigación se justifica por su aporte innovador al aplicar Redes Neuronales Artificiales (RNA) para predecir zonas de inundación y representarlas en mapas dentro de QGIS. Con ello se busca ofrecer una herramienta tecnológica que apoye a la planeación urbana y la toma de decisiones preventivas.

Además, el uso de IA permitiría sugerir la ubicación óptima de drenajes o captadores pluviales, contribuyendo a un manejo más eficiente del recurso hídrico y a la reducción de riesgos para la población.

# CAPITULO 2

# MARCO TEÓRICO

## 2.1 Estado del arte

Diversos estudios han demostrado la efectividad de las RNA en la predicción de fenómenos hidrológicos:

El estudio de la aplicación de modelos de RNA enfocados a la hidrología no es nuevo, existen proyectos similares los cuales se describen a continuación.

[1] compara dos enfoques para la predicción de niveles de inundación en la parte alta del río Bogotá (Colombia): un modelo físico de tránsito de flujo unidimensional (HEC-RAS) y un modelo de inteligencia artificial basado en redes neuronales artificiales (RNA) desarrollado en Matlab.

Para evaluar su desempeño se usaron indicadores estadísticos como el error absoluto medio, error cuadrático medio, error porcentual absoluto, raíz cuadrada del MSE, coeficiente de correlación de Pearson y coeficiente de concordancia.

Los modelos físicos, basados en principios hidráulicos, permiten explicar el comportamiento de los ríos mediante ecuaciones diferenciales, pero presentan limitaciones: requieren gran cantidad de datos hidrometeorológicos y topográficos, tienden a acumular errores y subestiman caudales altos, lo que reduce su capacidad de predicción en eventos extremos.

Por otro lado, las RNA ofrecen una estructura flexible que permite modelar relaciones no lineales y complejas, logrando resultados más precisos y útiles en la predicción de inundaciones. En la investigación, el modelo con configuración sigmoidal-sigmoidal alcanzó una precisión de alrededor del 92%, mostrando mejor correspondencia con los datos reales y mayor capacidad para anticipar caudales altos.

Aunque los modelos físicos siguen siendo una referencia importante, los modelos basados en inteligencia artificial, especialmente redes neuronales, demuestran un mayor potencial en la predicción de inundaciones, lo que los convierte en una herramienta valiosa para la gestión del riesgo, la toma de decisiones y la prevención de desastres naturales.

[2] por otro lado, presenta una revisión sistemática sobre el uso de técnicas de inteligencia artificial (IA) en el modelamiento de procesos hidrológicos como lluvia-escorrentía, inundaciones, sequías, evapotranspiración, niveles de lagos y predicción de caudales. Se analizaron 50 artículos indexados, además de otros documentos complementarios.

Las redes neuronales artificiales (RNA) destacan como la técnica más empleada debido a su capacidad para modelar relaciones no lineales complejas y reducir la necesidad de grandes volúmenes de datos en comparación con los métodos tradicionales. Asimismo, se observa

una tendencia al desarrollo de modelos híbridos, que combinan RNA con otras metodologías para mejorar la precisión de las estimaciones.

Los resultados revisados muestran que las RNA han sido útiles en predicciones de lluvia, monitoreo de sequías y simulación de inundaciones, logrando buena precisión y tiempos de respuesta mucho más rápidos que los modelos numéricos convencionales.

La aplicación de IA, especialmente las RNA, constituye una herramienta eficaz y prometedora en la hidrología moderna, aportando mayor eficiencia y confiabilidad para la gestión y planificación de los recursos hídricos.

[3] El estudio propone un sistema de inteligencia artificial para la predicción temprana de heladas meteorológicas, utilizando el algoritmo Extreme Learning Machine (ELM) aplicado a redes neuronales de una sola capa. Este enfoque busca anticipar descensos críticos de temperatura para activar medidas de contingencia que reduzcan el daño agrícola.

El modelo se basa en aprendizaje supervisado, con fases de entrenamiento y prueba que permiten identificar patrones en los datos climáticos y generar predicciones rápidas y precisas. Los resultados mostraron que la red neuronal entrenada con el algoritmo ELM es un predictor eficaz de heladas, con altos niveles de confianza y tiempos de respuesta reducidos.

En conclusión, el uso de ELM representa una alternativa eficiente dentro del aprendizaje automático aplicado a la meteorología, ofreciendo a los agricultores una herramienta valiosa para la prevención de riesgos y la gestión de cultivos frente a heladas.

[4] este artículo realiza una revisión detallada del uso de técnicas de deep learning en el campo de la hidrología. Se enfatiza cómo los modelos de aprendizaje profundo, especialmente las redes neuronales convolucionales (CNN) y las redes recurrentes (RNN, LSTM), se han convertido en herramientas clave para el análisis de fenómenos hidrológicos no lineales, como la predicción de caudales, inundaciones, precipitaciones y sequías.

El texto señala que los métodos tradicionales presentan limitaciones debido a la complejidad de los procesos físicos y la gran cantidad de datos requeridos. Los enfoques basados en deep learning ofrecen mayor capacidad para manejar grandes volúmenes de datos y extraer patrones complejos sin necesidad de especificar previamente relaciones físicas.

Sin embargo, se advierte que persisten desafíos como la falta de interpretabilidad de los modelos (el llamado problema de las “cajas negras”) y la necesidad de integrar los conocimientos de la hidrología clásica con los enfoques puramente basados en datos. En conclusión, el artículo plantea que el futuro de la hidrología inteligente estará en la fusión de

modelos híbridos que combinan técnicas de deep learning con fundamentos físicos, con el fin de lograr pronósticos más precisos y confiables para la gestión del agua y la prevención de desastres naturales.

[5] explora diferentes técnicas de aprendizaje automático para la predicción temprana de heladas meteorológicas, un fenómeno que causa graves pérdidas en la agricultura. Se probaron modelos de redes neuronales profundas (DNN), redes neuronales convolucionales (CNN), y métodos tradicionales de machine learning como los bosques aleatorios (Random Forest).

El objetivo fue predecir las temperaturas mínimas con horizontes de entre 6 y 48 horas, utilizando datos climáticos históricos y satelitales. Los resultados indicaron que los modelos basados en redes neuronales profundas tuvieron un mejor desempeño, alcanzando un error cuadrático medio (RMSE) de 1.53–1.72 °C en predicciones a 6 horas, lo cual supera significativamente a los métodos convencionales.

Además, se destacó que la precisión disminuye en horizontes de predicción más largos, aunque las redes neuronales siguen mostrando ventajas frente a técnicas estadísticas o físicas. El estudio concluye que la integración de IA en la meteorología agrícola representa una herramienta eficaz para reducir riesgos, ya que permite generar sistemas de alerta temprana que ayudan a los agricultores a tomar medidas preventivas y minimizar pérdidas económicas.

## **2.2 Marco conceptual.**

El presente marco conceptual representa los principales conceptos y relaciones que sustentan el desarrollo del proyecto de predicción de inundaciones mediante redes neuronales artificiales y sistemas de información geográfica (QGIS). El punto de partida es el fenómeno de las inundaciones, un problema ambiental recurrente que afecta la infraestructura, la economía y la seguridad de las poblaciones. Este fenómeno está influenciado por diversos factores climáticos y topográficos, tales como la precipitación, el nivel freático, la pendiente del terreno y la cobertura vegetal.

Para comprender y anticipar la ocurrencia de estos eventos, se recurre al uso de modelos predictivos, los cuales permiten analizar patrones históricos y proyectar posibles escenarios futuros. En este contexto, la inteligencia artificial (IA) se presenta como una herramienta eficaz para mejorar la precisión de dichos modelos, particularmente a través de las redes neuronales artificiales (RNA).

Estas redes son capaces de aprender relaciones complejas entre múltiples variables, ajustando sus parámetros mediante procesos de entrenamiento y validación para optimizar los resultados.

Una vez entrenado el modelo, los datos resultantes se integran en QGIS, un sistema de información geográfica que facilita la visualización espacial de las zonas de riesgo. Este componente permite generar mapas interactivos y dinámicos que contribuyen a la toma de decisiones preventivas en materia de gestión del territorio y protección civil.

De esta manera, el marco conceptual refleja una interconexión entre el fenómeno natural, las variables que lo provocan y las tecnologías empleadas para su estudio y mitigación, destacando la importancia del uso de herramientas de IA y análisis geoespacial en la predicción de riesgos ambientales.

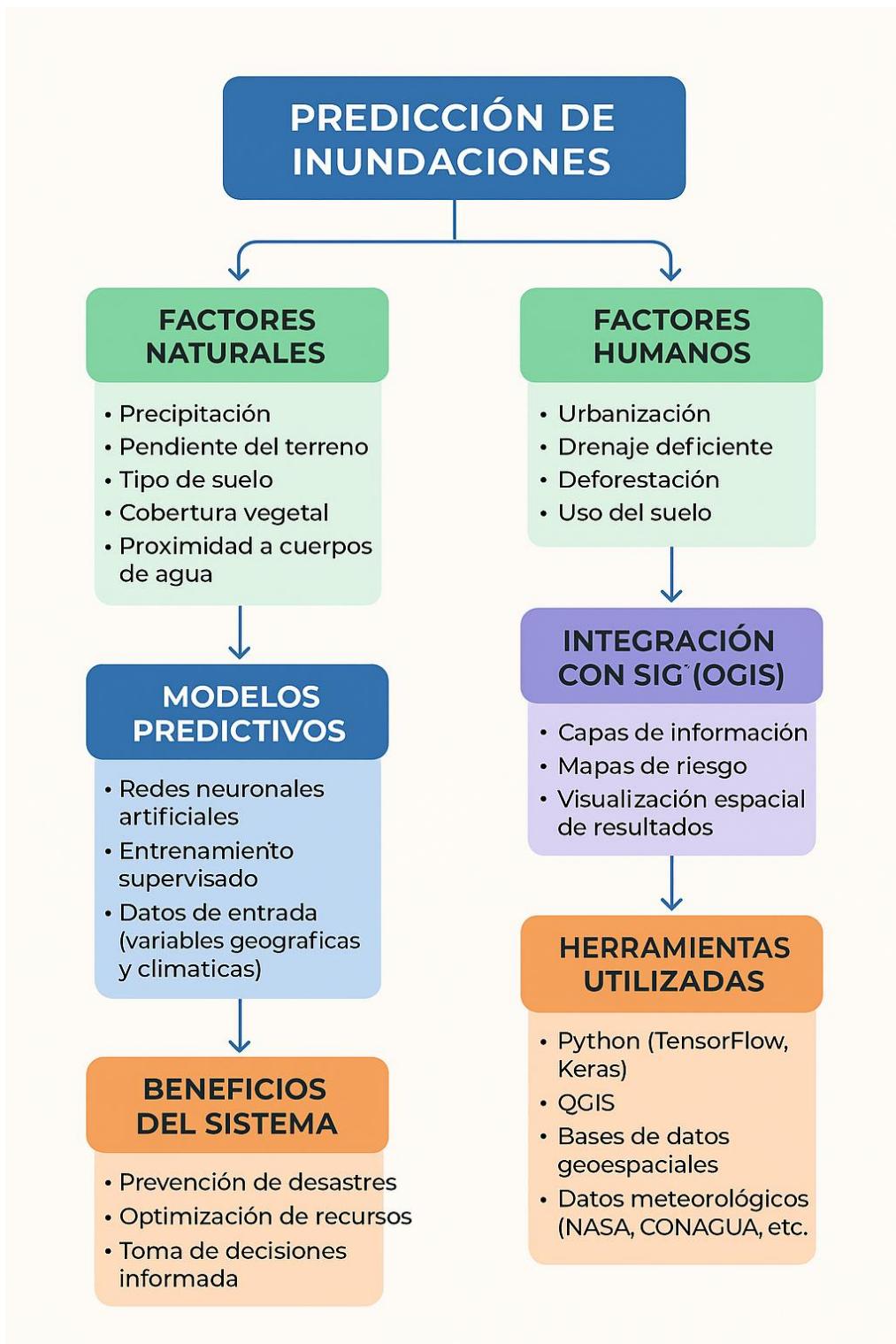


Figura 1 Mapa Conceptual

# CAPITULO 3

# Diseño Metodológico

### **3.1 Enfoque de la investigación**

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que su propósito central es analizar, procesar y modelar datos numéricos relacionados con variables climáticas, topográficas e históricas de inundaciones en la ciudad de Catemaco. El enfoque cuantitativo es el más adecuado cuando se busca medir, predecir o comprobar relaciones entre variables mediante técnicas estadísticas, matemáticas y computacionales, características esenciales para la construcción de modelos predictivos basados en redes neuronales artificiales (RNA).

El análisis hidrológico y climatológico exige un tratamiento objetivo y medible de la información, pues se trabaja con registros de precipitación, pendientes del terreno, elevación, niveles freáticos y datos históricos de inundaciones, todos ellos expresados en valores numéricos. Esto permite estructurar bases de datos que posteriormente sirven como insumo para el entrenamiento y evaluación del modelo de inteligencia artificial.

Asimismo, las redes neuronales artificiales, al ser algoritmos matemáticos inspirados en el funcionamiento biológico del cerebro, requieren conjuntos de datos cuantitativos para aprender patrones, ajustar pesos sinápticos y generar predicciones confiables. Este proceso —que incluye fases de entrenamiento, validación y prueba— solo es posible mediante un enfoque cuantitativo, donde la precisión del modelo se determina a través de métricas como el error cuadrático medio (ECM), el error absoluto medio (MAE) o el coeficiente de correlación.

Por otro lado, la integración de los resultados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) como QGIS también responde al enfoque cuantitativo, ya que implica transformar los valores estimados por el modelo en representaciones espaciales mediante capas raster o vectoriales. Estas herramientas requieren datos georreferenciados que posteriormente se analizan mediante técnicas numéricas para generar mapas de vulnerabilidad y riesgo.

Finalmente, el enfoque cuantitativo se justifica por la naturaleza predictiva del proyecto. De acuerdo con Hernández Sampieri y otros autores de referencia metodológica, los estudios orientados a modelar tendencias futuras, estimar comportamientos o evaluar sistemas complejos suelen emplear metodologías cuantitativas debido a su capacidad para ofrecer resultados replicables, generalizables y estadísticamente verificables.

Concluyendo en que el enfoque cuantitativo se fundamenta en:

- El uso de datos numéricos provenientes de fuentes climáticas, topográficas e históricas.
- La necesidad de aplicar técnicas matemáticas y estadísticas para entrenar y evaluar el modelo.

- El carácter predictivo del proyecto, que demanda resultados medibles y comparables.
- La integración de la información en SIG, lo cual requiere estructuras de datos cuantificables.
- La búsqueda de precisión y objetividad, características esenciales en estudios de riesgo hidrológico.

Este enfoque permite garantizar la solidez científica del modelo propuesto y la confiabilidad de los mapas predictivos generados para la toma de decisiones en la gestión del riesgo por inundaciones.

### **3.2 Tipo de la investigación**

La presente investigación presenta un carácter cuantitativo, aplicada, descriptiva y exploratoria, combinando varios enfoques metodológicos que se articulan para abordar un problema real mediante herramientas tecnológicas avanzadas.

#### **Investigación cuantitativa**

Este estudio se inscribe principalmente en el paradigma cuantitativo, ya que se basa en la recolección, procesamiento y análisis de datos numéricos relacionados con variables hidrológicas, climáticas y topográficas del municipio de Catemaco. La naturaleza del proyecto exige mediciones objetivas —como niveles de precipitación, pendientes, altitudes o registros históricos de inundaciones— que permiten alimentar y entrenar modelos computacionales.

Las redes neuronales artificiales requieren bases de datos estructuradas numéricamente para ajustar pesos, minimizar el error y generar predicciones fiables, por lo que su implementación solo es posible mediante métodos cuantitativos. Asimismo, la validación del modelo se realiza con métricas estadísticas objetivas (MAE, RMSE, coeficiente de correlación), reforzando el rigor propio de esta metodología.

#### **Investigación aplicada**

El proyecto se clasifica como aplicado porque busca ofrecer soluciones concretas a un problema real: la predicción de zonas de inundación y la mejora en la gestión urbana del agua en Catemaco. La investigación no se limita a comprender un fenómeno, sino que propone una herramienta tecnológica compuesta por un modelo de RNA y una representación espacial en QGIS, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones urbanas y de protección civil. Este

tipo de investigación genera conocimiento con impacto directo en el diseño de infraestructura pluvial, mitigación de riesgos y planeación territorial.

### **Investigación descriptiva**

La fase descriptiva tiene como fin caracterizar y comprender las condiciones actuales del territorio, incluyendo variables como relieve, uso de suelo, régimen de lluvias y zonas históricamente afectadas por inundaciones.

A través del análisis descriptivo se identifican patrones y relaciones espaciales que permiten entender cómo se distribuye el riesgo en la ciudad. La producción de mapas temáticos y representaciones cartográficas en QGIS constituye una herramienta clave para visualizar y explicar estos patrones de manera cuantificable, ofreciendo un diagnóstico detallado del fenómeno.

### **Investigación exploratoria**

Se considera también un estudio de carácter exploratorio, dado que la aplicación de redes neuronales artificiales para predecir inundaciones en Catemaco es escasa y poco documentada. Aunque existen antecedentes globales del uso de IA en hidrología, su implementación en el contexto local es limitada, por lo que esta investigación pretende analizar la viabilidad, potencial y posibles limitaciones de este enfoque innovador.

El carácter exploratorio permite abrir camino a nuevas líneas de investigación, evaluar qué variables son más influyentes en el desempeño del modelo, y determinar si la IA puede complementar o mejorar los métodos tradicionales de predicción hidrológica.

En síntesis, estos cuatro tipos de investigación permiten abordar el problema desde distintas perspectivas:

- Cuantitativa, para garantizar rigor y precisión estadística;
- Aplicada, para generar soluciones reales y útiles;
- Descriptiva, para comprender a fondo el fenómeno territorial;
- Exploratoria, para evaluar el potencial de metodologías emergentes como las redes neuronales.

### **3.4 Población**

La población de estudio está conformada por todas las zonas del municipio de Catemaco que presentan o podrían presentar riesgo de inundación, incluyendo áreas urbanas, periurbanas y sectores donde se registran procesos hidrometeorológicos relevantes. Esta población comprende tanto el espacio físico, superficie terrestre y cuerpos de agua, como las variables ambientales que influyen en la generación de inundaciones, tales como:

- Precipitación anual y estacional
- Elevación y relieve del terreno
- Pendiente y dirección de flujo
- Proximidad a ríos, arroyos y zonas lacustres
- Registros históricos de eventos de inundación
- Suelos con baja capacidad de infiltración
- Condiciones del drenaje urbano existente

Definir la población como el territorio susceptible permite abarcar de manera integral el fenómeno, ya que las inundaciones dependen del comportamiento del espacio físico y no únicamente de zonas previamente afectadas.

### **3.5 Muestra**

La muestra está constituida por las áreas del municipio con disponibilidad de datos geográficos y ambientales suficientes para el entrenamiento y evaluación del modelo de redes neuronales. A diferencia de estudios sociales, donde la muestra se obtiene mediante técnicas probabilísticas, en esta investigación la selección es no probabilística y por conveniencia, debido a que depende de:

- La disponibilidad de capas geoespaciales confiables (DEM, usos de suelo, hidrología).
- Acceso a registros climatológicos históricos (precipitación, temperatura, eventos extremos).
- Datos verificables de inundaciones ocurridas en años anteriores.
- Información compatible con QGIS y con el formato requerido para el modelo de IA.

La muestra estará conformada por celdas, polígonos o segmentos espaciales generados a partir del procesamiento de capas raster y vectoriales. Cada una de estas unidades representa un conjunto de valores cuantitativos que alimentarán el modelo predictivo.

### **3.5.1 Justificación de la muestra**

La elección de una muestra basada en disponibilidad de datos es un procedimiento estándar en estudios con SIG y modelos predictivos, ya que:

1. Las unidades de análisis dependen del territorio real, no de individuos o encuestas.
2. El rendimiento del modelo está directamente ligado a la calidad del dataset, por lo que solo se incluyen áreas con datos suficientes y precisos.
3. La misma lógica es aplicada en hidrología, climatología y geociencias, donde la delimitación muestral responde a criterios técnicos y no probabilísticos.
4. El uso de celdas o polígonos espaciales permite que la muestra sea representativa del comportamiento territorial, incluso sin seleccionar áreas de manera aleatoria.

### **3.5.2 Unidades de análisis**

Cada unidad espacial será definida según el tipo de datos empleados:

- En capas raster: celdas de resolución definida (10 m, 30 m, etc.) que representan valores ambientales.
- En capas vectoriales: polígonos o zonas urbanas específicas.
- En registros históricos: puntos georreferenciados donde se reportaron inundaciones.

Estas unidades se transforman en vectores numéricos para alimentar la red neuronal artificial, estableciendo una relación directa entre territorio, datos ambientales y riesgo potencial.

# CAPITULO 4

# Resultados

## **Resultados esperados**

### **4.1 Modelo predictivo funcional basado en Redes Neuronales Artificiales (RNA)**

Se espera obtener un modelo capaz de predecir zonas con alta probabilidad de inundación en el municipio de Catemaco mediante el procesamiento de variables hidrológicas, climáticas y geoespaciales. El modelo deberá mostrar un desempeño aceptable bajo métricas como:

- Error cuadrático medio (MSE)
- Precisión y sensibilidad
- Matriz de confusión
- Coeficiente de correlación entre variables observadas y predichas

El objetivo es que las predicciones sean lo suficientemente robustas para apoyar la toma de decisiones en materia de gestión de riesgos.

### **4.2 Generación de mapas temáticos en QGIS**

Se prevé la creación de mapas de riesgo, mapas de intensidad de inundación, mapas de pendiente, uso de suelo, dirección de flujo y otros productos cartográficos derivados del procesamiento del modelo.

Estos mapas permitirán visualizar las zonas vulnerables y servirán como herramientas de consulta para instituciones locales, Protección Civil y áreas de planeación urbana.

### **4.3 Identificación de las zonas críticas con mayor probabilidad de inundación**

El análisis del modelo y de los datos espaciales permitirá:

- Detectar colonias, calles o sectores que concentran el mayor riesgo.
- Reconocer patrones espaciales asociados a la infraestructura pluvial deficiente.
- Señalar áreas donde la topografía favorece la acumulación de agua.

Estos resultados contribuirán a priorizar intervenciones preventivas.

#### **4.4 Validación del modelo con datos históricos**

Al contrastar las predicciones con registros de inundaciones reales, se espera:

- Verificar la efectividad del modelo.
- Ajustar su desempeño mediante calibración.
- Confirmar si la IA puede reproducir comportamientos hidrológicos reales del municipio.

Esta validación permitirá justificar el uso de RNA como herramienta de análisis territorial.

#### **4.5 Base de datos geoespacial integrada y estandarizada**

Como producto del proceso de recopilación y limpieza, se generará una base de datos con:

- Capas raster y vectoriales sistematizadas
- Datos hidrológicos y meteorológicos clasificados
- Registros históricos organizados y georreferenciados

Esta base podrá ser reutilizada en futuros estudios, programas de gestión del agua o proyectos institucionales.

#### **4.6 Propuesta técnica para la gestión urbana del agua**

A partir de los resultados visuales, cartográficos y predictivos, se espera elaborar una propuesta que incluya:

- Recomendaciones para mejorar la infraestructura pluvial
- Ubicación óptima de drenajes, canales o colectores
- Medidas de mitigación para reducir el impacto de inundaciones
- Lineamientos para el desarrollo urbano en zonas vulnerables

La propuesta busca ser práctica y accesible para autoridades y ciudadanos.

#### **4.7 Evidencia de la viabilidad de usar IA en problemas de gestión ambiental**

Finalmente, se espera demostrar que las RNA pueden:

- Reducir tiempos de análisis
- Detectar patrones no evidentes con métodos tradicionales
- Simplificar procesos de predicción ambiental
- Integrarse a plataformas SIG como QGIS sin perder precisión

Esto abre la puerta para estudios futuros basados en modelos más complejos o aplicados a otros municipios.

Semanas	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Recopilar y procesar información.	■	■														
Procesamiento de datos.			■													
Diseño de modelo de RNA.				■	■											
Entrenamiento del modelo.								■	■	■						
Integración de QGIS.											■	■				
Análisis de resultado.													■			
Propuesta de mitigación.														■		
Documentación.														■		
Revisión y entrega.															■	

Tabla 1 Cronograma de Actividades

## Referencias

- [1] L. Agudelo, W. Moscoso, L. Paipa y C. Mesa, «Comparación de modelos físicos y de inteligencia artificial para predicción de niveles de inundación,» *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 9, nº 4, pp. 209-263, 2018.
- [2] W. Rafael, P. Vilcherres, S. Muñoz, V. Tuesta and H. Mejía, "Modelamiento de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: Una revisión sistemática de la literatura," *ITECKNE*, vol. 19, no. 1, pp. 40-60, 2021.
- [3] I. Ayala, J. Oré, D. Requena, E. Torres and E. Montes, "Flow routing in natural channel of the Ichu river experimental basin through artificial neural networks," *Journal of Environmental Science and Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 387-403, 2018.
- [4] R. Zhang, J. Xing, D. Arsa, S. Arsa and S. Bressan, "Hydrological process surrogate modelling and simulation with neural networks," *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, vol. 12085, no. 1, pp. 449-461, 2020.
- [5] R. Marquez, Y. Rivas, A. Molina and J. Querales, "Una librería en R para validación de modelos de simulación," *Ciencia e Ingeniería*, vol. 32, no. 2, pp. 117-126, 2011.
- [6] T. Zhang, A. Kang, J. Li and X. Lei, "Research on runoff simulations using deep-learning methods," *Sustainability*, vol. 13, no. 3, pp. 1336-1356, 2021.
- [7] C. Hu, Q. Wu, H. Li, S. Jian, N. Li and Z. Lou, "Deep learning with a long short-term memory networks approach for rainfall-runoff simulation," *Water*, vol. 10, no. 11, pp. 1543-1558, 2018.
- [8] M. Yaseen, S. Naghshara, Q. Salih, S. Kim, A. Malik and M. Ghorbani, "Lake water level modeling using newly developed hybrid data intelligence model," *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 141, no. 1, pp. 1285-1300, 2020.
- [9] D. Allard, P. Ailliot, V. Monbet and P. Naveau, "Stochastic weather generators: an overview of weather type models," *Hal Open Science*, vol. 156, no. 1, pp. 101-113, 2015.
- [10] F. Riabani, W. García and J. Herrera, "Sistema de inteligencia artificial para la predicción temprana de heladas meteorológicas," *Acta Nova*, vol. 7, no. 4, pp. 483-495, 2016.
- [11] A. Dinamarca, Aprendizaje y Análisis de Redes Neuronales Artificiales Profundas, Cuyo, Perú: Universidad Nacional de Cuyo, 2018.
- [12] J. J. Montaño Moreno, Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis de datos, Palma de Mallorca, España: Universitat de Les Illes Balears, 2002.
- [13] L. F. Bertona, Entrenamiento de redes neuronales basado en algoritmos evolutivos, Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires, 2005.
- [14] E. X. Chafla Yambay, Análisis del rendimiento de algoritmos de entrenamiento de redes neuronales artificiales, aplicadas al modelamiento dinámico de represas hidroeléctricas, mediante el error de predicción del nivel de embalse de agua, Riobamba, Ecuador: Escuela superior politécnica de chimborazo, 2019.
- [15] G. Hillman, O. Dolling, M. Pagot, C. Pozzi and G. Plencovich, Aplicación de redes neuronales para el pronóstico de evolución de niveles de agua para la laguna de mar

chiquita, San Juan, Argentina: Departamento de Hidráulica: Universidad nacional de San Juan Argentina, 2004.

## **GUIA DE OBSERVACIÓN DE EXPOSICIÓN**

**Nombre asignatura:** Taller de Investigación

**Tema:** Implementación de un Modelo de RNA para Predecir Inundaciones en la Ciudad de Catemaco

**Nombre del alumno:** Emmanuel de Jesús Teobal Díaz

**Nombre del docente:** Dra. Verónica Guerrero Hernández

Criterios	Indicador máximo por criterio	Indicador de alcance total (40%)
a. Capacidad crítica y autocrítica del trabajo	0-10	10
b. Habilidad en el uso de TIC	0-5	5
c. Dominio del tema	0-10	10
d. Utilización de ejemplos acorde al tema explicado.	0-10	10
e. Manejo e inclusión de referencias bibliográficas	0-5	5
<b>Total Indicador</b>		40



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR  
DE SAN ANDRÉS TUXTLA

# IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE RNA PARA PREDECIR INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE CATEMACO

Presentado por: Emmanuel de Jesús Teobal Díaz

**Grupo:**  
710 A

**Docente:**  
Dra. Verónica Guerrero Hernández

# INUNDACIONES

La ciudad de **Catemaco, Veracruz** durante los meses de Junio a Octubre pesenta abundantes precipitaciones. Este fenómeno meteorológico contribuye al **desbordamiento de ríos, lagos e inundaciones**, representando un **riesgo** latente para varios sectores siendo el más importante el de la **salud**.



**¿DE QUÉ FORMA EL USO DE LA IA PERMITE PREDECIR Y  
CON QUÉ PRECISIÓN EL COMPORTAMIENTO DE ESTOS  
FENÓMENOS METEOROLÓGICOS?**

# OBJETIVO GENERAL

Implementar un modelo de **RNA** para predecir zonas de inundación en la ciudad de Catemaco, representándolas en mapas **SIG** de uso libre.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

## Recopilar y Procesar

Información topográfica, hídrica y climática del municipio de Catemaco, Veracruz.

## Diseñar y Entrenar

Un **modelo** de Redes Neuronales Artificiales que analice, procese y represente dicha información recopilada.

## Integrar

Los **resultados** en un Sistema de Información Geoespacial.

## Evaluar

La **precisión** del modelo de Redes Neuronales Artificiales en comparación con modelos tradicionales.

# COMPARACIÓN DE MODELOS FÍSICOS Y DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA PREDICCIÓN DE NIVELES DE INUNDACIÓN.

- **Compara** dos enfoques: **Modelo físico** y **Modelo Artificial**.
- **Los modelos físicos explican el comportamiento** pero **tienen limitaciones** como requerir volumen alto de datos.
- **Las RNA ofrecen flexibilidad** para modelar relaciones no lineales y complejas.
- En la investigación, el **modelo artificial alcanzó una precisión del 92%** respecto a modelos tradicionales.

DOI:10.24850/j-tyca-2018-04-09  
Artículo

Comparación de modelos físicos y de inteligencia artificial para predicción de niveles de inundación  
Comparison of physical models and artificial intelligence for prediction of flood levels

Luis M. Agudelo-Otálora<sup>1</sup>  
William D. Moscoso-Barrera<sup>2</sup>  
Luis A. Paipa-Galeano<sup>3</sup>  
Catalina Mesa-Sciarrotta<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, mauricioao@unisabana.edu.co

<sup>2</sup>Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, william.moscoso@unisabana.edu.co; Universidad Central, Chía, Cundinamarca, Colombia, wmoscosob@ucentral.edu.co

<sup>3</sup>Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, luis.paipa@unisabana.edu.co

<sup>4</sup>Universidad de La Sabana, Chía, Cundinamarca, Colombia, catalinamesc@unisabana.edu.co

Autor para correspondencia: Luis Mauricio Agudelo Otálora, mauricioao@unisabana.edu.co

## Resumen

La hidrología ha utilizado métodos tradicionales para pronosticar niveles de inundación. Sin embargo, éstos pueden generar problemas de precisión, causados por el comportamiento no lineal de las inundaciones y las limitaciones al no incluir todas las variables, como flujo, y nivel de agua y precipitación. En consecuencia, algunos científicos comenzaron a utilizar métodos no convencionales basados en modelos de inteligencia artificial, pronosticando las inundaciones de manera más precisa y rigurosa. Este artículo presenta una comparación de un modelo de tránsito de flujo unidimensional desarrollado en HEC-RAS y un modelo de inteligencia artificial, basado en redes neuronales artificiales, desarrollado en MatLab, para predecir inundaciones. El análisis de los

# MODELAMIENTO DE PROCESOS HIDROLÓGICOS APlicando TÉCNICAS DE IA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

- Es una **revisión de 50 artículos** sobre el uso de técnicas de IA en procesos hidrológicos.
- **Las RNA destacan como técnica** más empleada para **modelar relaciones complejas** y reducir el uso de grandes volúmenes de datos.
- Los **resultados** muestran que **las RNA son útiles** para predicciones, **monitoreo** y **simulación**, logrando buena precisión y tiempos de respuesta más rápidos.

MODELAMIENTO DE PROCESOS HIDROLÓGICOS APlicando TÉCNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

MODELING OF HYDROLOGICAL PROCESSES APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Willians Franklin Rafael-Miñope; Pedro Victor Raúl Vilcherres-Lizárraga; Sócrates Pedro Muñoz-Pérez; Víctor Alexci Tuesta-Monteza; Heber Iván Mejía-Cabrera

Ingeniería Civil, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú. [minopewi@crece.uss.edu.pe](mailto:minopewi@crece.uss.edu.pe), [msoocrates@crece.uss.edu.pe](mailto:msoocrates@crece.uss.edu.pe), [vtuesta@crece.uss.edu.pe](mailto:vtuesta@crece.uss.edu.pe), [hmejiac@crece.uss.edu.pe](mailto:hmejiac@crece.uss.edu.pe)

DOI del artículo: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2645>

Willians Franklin Rafael-Miñope: <https://orcid.org/0000-0002-4554-5464>  
Pedro Victor Raúl Vilcherres-Lizárraga: <https://orcid.org/0000-0003-2292-7782>  
Sócrates Pedro Muñoz-Pérez: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>  
Víctor Alexci Tuesta-Monteza: <https://orcid.org/0000-0002-5913-990X>  
Heber Iván Mejía-Cabrera: <https://orcid.org/0000-0002-0007-0928>

Char este artículo como:  
Rafael Miñope, W., Vilcherres Lizárraga, P., Muñoz Pérez, S., Tuesta Monteza, V., & Mejía Cabrera, H. (2021). Modelado de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: una revisión sistemática de la literatura. *ITECKNE*, 19 (1). <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2645>

## Resumen

El campo de la hidrología es una de las ciencias que se enfoca en el estudio, la planificación y la cuantificación del recurso hídrico, generando una magnitud significativa de datos, los cuales son indispensables en la rama de la ingeniería civil. Actualmente dichos datos son analizados por una variedad de técnicas, que entre las predominantes son las de inteligencia artificial (IA) exclusivamente aplicadas al modelamiento de procesos hidrológicos como lluvia-escorriente, inundaciones, sequías, evapotranspiración, nivel de lagos y predicción de caudales. El presente documento realizó una revisión sistemática de la literatura publicadas entre los años 2015 al 2021 en las diversas bases de datos como, Scopus, Springer Link, EBSCOhost, SciELO y ScienceDirect. Para ello se estableció un proceso de protocolo en el cual se introduce la base de datos seleccionada, definición de términos de búsqueda y filtros de selección. En efecto después de considerar el proceso de protocolo se obtuvieron 50 artículos indexados además de 4 artículos y 1 libro de páginas web. Como consecuencia se encontró que las redes neuronales artificiales (RNA) son las técnicas más utilizadas para el modelamiento de procesos hidrológicos donde con innovadoras lenguajes de programación se pueden codificar con mucha mayor versatilidad. A la fecha el uso de RNA se les está implementando con otras técnicas para generar modelos híbridos que permiten obtener mejores estimaciones.

Palabras clave: Modelamiento hidrológico; inteligencia artificial; aprendizaje automático; red neuronal; evapotranspiración; escorrentía y precipitación.

## Abstract

The field of hydrology is one of the sciences that focuses on the study, planning and quantification of water resources, generating a significant amount of data, which are indispensable in the branch of

# STOCHASTIC WEATHER GENERATORS: AN OVERVIEW OF WEATHER TYPE MODELS

- **Explora** la incorporación de información **variable** atmosférica para **definir** los tipos de clima.
- **Analiza** diferentes modelos de captura de datos climatológicos y **discute** la **eficacia entre modelos clásicos y artificiales**.
- Aborda los **desafíos** de la **generación de resultados**, así como la limitación de los modelos tradicionales con el manejo de grandes volúmenes de datos.
- Prevé que es **necesario desarrollar** modelos que mejoren la simulación de eventos mediante el uso de **inteligencia artificial**.



Journal de la Société Française de Statistique  
Vol. 156 No. 1 (2015)

## Stochastic weather generators: an overview of weather type models

Titre: Générateurs stochastiques de condition météorologiques : une revue des modèles à type de temps

Pierre Ailliot<sup>1</sup>, Denis Allard<sup>2</sup>, Valérie Monbet<sup>3</sup> and Philippe Naveau<sup>4</sup>

**Abstract:** A recurrent issue encountered in environmental, ecological or agricultural impact studies in which climate is an important driving force is to provide fast and realistic simulations of atmospheric variables such as temperature, precipitation and wind at a few specific locations, at daily or hourly temporal scales. Spatio-temporal dynamics and correlation structures among the variables of interest, as well as weather persistence and natural variability have to be reproduced accurately in a distributional sense. This quest leads to a large variety of so-called stochastic weather generators (WGs) in the literature. Here, we provide an up-to-date overview of weather type WG models. Weather types classically represent daily characteristics of the relevant atmospheric information at hand. There are many ways to build such weather states, either hidden or observed, and to infer their properties. This overview should help statisticians as well as meteorologists and climate product users to understand the probabilistic concepts and models behind weather type WGs, and to identify their advantages and limits.

**Résumé :** Pour réaliser des études d'impact dans lesquelles le climat est un paramètre d'entrée important, un problème fréquemment rencontré consiste à produire des séries temporelles de variables climatiques telles que température, précipitation, vent ou humidité relative, en plusieurs sites simultanément, au pas de temps journalier et parfois horaire. Ces séries doivent être faciles à générer. Elles doivent aussi être réalistes en ce sens que les distributions des statistiques liées à la dynamique spatio-temporelle, telles que les corrélations entre variables, la persistance temporelle et les différentes sources de variabilité doivent être correctement reproduites. De nombreux générateurs stochastiques de conditions météorologiques ont été proposés dans ce but. Dans cet article, nous proposons de passer en revue la classe particulière des générateurs stochastiques à base de types de temps. En règle générale, un type de temps est une caractérisation grossière des conditions atmosphériques journalières. Il existe de nombreuses façons de définir les types de temps, qu'ils soient observés ou cachés dans une structure latente, et d'en inférer leurs propriétés. Cette revue a pour objet d'aider les statisticiens, les scientifiques du climat et les utilisateurs de produits climatiques à appréhender les concepts et modèles probabilistes utilisés dans les générateurs stochastiques de conditions météorologiques et d'en cerner les avantages et leurs limites.

**Keywords:** Stochastic Weather Generators, Precipitation, Regime Switching Models, Weather Type

**Mots-clés :** Générateurs aléatoires de conditions météorologiques, Précipitations, Modèles à Changements de Régimes, Type de temps

**AMS 2000 subject classifications:** 62-02, 62P12

<sup>1</sup> LMBA, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France.

E-mail: [pierre.ailliot@univ-brest.fr](mailto:pierre.ailliot@univ-brest.fr)

<sup>2</sup> INRA, Biostatistique et Processus Spatiaux (BioSP), Avignon, France.

E-mail: [denis.allard@avignon.inra.fr](mailto:denis.allard@avignon.inra.fr)

<sup>3</sup> IRMAR, INRIA/ASPI, Université de Rennes 1, Rennes, France.

E-mail: [valerie.monbet@univ-rennes1.fr](mailto:valerie.monbet@univ-rennes1.fr)

<sup>4</sup> LSCE, IPSL, CNRS/CEA, Saclay, France.

E-mail: [philippe.naveau@lsce.ipsl.fr](mailto:philippe.naveau@lsce.ipsl.fr)

*Journal de la Société Française de Statistique, Vol. 156 No. 1 101-113*

<http://www.sfs.asso.fr/journal>

© Société Française de Statistique et Société Mathématique de France (2015) ISSN: 2102-6238

# **METODOLOGÍA**

# CUANTITATIVA

Basado en la **recolección** y **análisis numérico de datos** hidrológicos, climáticos y territoriales. Permite **entrenar** y **evaluar** el modelo de redes neuronales mediante **métricas estadísticas** objetivas.

# APLICADA

Busca **resolver un problema real**: mejorar la predicción de inundaciones y apoyar la gestión urbana del agua. **Implementa** un modelo de RNA y su **visualización** en QGIS para proponer soluciones prácticas.

# DESCRIPTIVA

**Caracteriza** las zonas de riesgo, patrones de inundación y variables hidrológicas relevantes. **Genera información cuantificable** y mapas temáticos para entender la distribución espacial del riesgo.

# EXPLORATIVA

Analiza la viabilidad de **utilizar** inteligencia artificial **como herramienta** innovadora para el manejo de infraestructura pluvial. **Evalúa el potencial** predictivo de las RNA en un contexto donde su aplicación aún es **limitada**.

# REFERENCIAS

- [1] L. M. Agudelo-Otálora, W. D. Moscoso-Barrera, L. A. Paipa-Galeano y C. Mesa-Sciarrotta, "Comparación de modelos físicos y de inteligencia artificial para predicción de niveles de inundación", *Tecnol. Cienc. Del Agua*, vol. 09, n.º 4, pp. 209–236, septiembre de 2018. Accedido el 8 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-09>
- [2] W. F. Rafael Miñope, P. V. R. Vilcherres Lizárraga, S. P. Muñoz Pérez, V. A. Tuesta Monteza y H. I. Mejía Cabrera, "Modelamiento de procesos hidrológicos aplicando técnicas de inteligencia artificial: Una revisión sistemática de la literatura", *Iteckne*, vol. 19, n.º 1, mayo de 2021. Accedido el 8 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v19i1.2645>
- [3] D. Allard, P. Ailliot, V. Monbet y P. Naveau, "Stochastic weather generators: An overview of weather type models", *Hal - Open Sci.*, vol. 1, n.º 156, pp. 101–113, 2015.

**MUCHAS  
GRACIAS!**