



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**Modelo de gestión para sistemas de vigilancia por amenazas de incendios forestales del
cantón Guayaquil basado en Inteligencia Artificial e IoT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero de Sistemas

AUTOR: David Xavier Soriano Monserrate

TUTOR: Galo Enrique Valverde Landívar, Ing., Msc.

Guayaquil – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, David Xavier Soriano Monserrate con documento de identificación N° 0927697383 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 23 de julio del 2024

Atentamente,



David Xavier Soriano Monserrate
0927697383

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, David Xavier Soriano Monserrate con documento de identificación N° 0927697383, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Modelo de gestión para sistemas de vigilancia por amenazas de incendios forestales del cantón Guayaquil basado en Inteligencia Artificial e IoT”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero de Sistemas, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de julio del 2024

Atentamente,



David Xavier Soriano Monserrate

0927697383

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Galo Enrique Valverde Landívar con documento de identificación N° 0912511532 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Modelo de gestión para sistemas de vigilancia por amenazas de incendios forestales del cantón Guayaquil basado en Inteligencia Artificial e IoT, realizado por David Xavier Soriano Monserrate con documento de identificación N° 0927697383, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de julio del 2024

Atentamente,



Galo Enrique Valverde Landívar

0912511532

DEDICATORIA

Dedico este artículo primeramente a Dios, mi padre que en paz descanse, mi madre y hermano por estar conmigo en todo momento, mi familia materna y paterna por apoyarme en los momentos que he necesitado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por dame la capacidad y paciencia para terminar esta etapa académica de mi vida, por haberme otorgado una familia maravillosa la cual me ha apoyado en todo momento, a mi enamorada por el apoyo que me ha dado para y estar presente en los buenos y malos momentos, al Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil por su colaboración con datos para la realización de este artículo.

RESUMEN

A nivel global, millones de hectáreas de bosques desaparecen por las llamas, los incendios generan serios costos financieros y víctimas. Un problema grave que se genera con la aparición de Incendios Forestales son los grandes daños a las superficies de bosques. Una causa básica de los Incendios Forestales es el aumento de la temperatura media del planeta Tierra. Los Incendios Forestales deben evitarse a través de la implementación de tecnologías en prevención o detección de incendios. El objetivo general es diseñar un modelo para gestionar las amenazas activadas por Incendios Forestales en sistemas de vigilancia del cantón Guayaquil basado en Inteligencia Artificial e Internet de las Cosas. El presente trabajo es elaborado bajo el método de investigación exploratoria y la deducción para analizar las referencias sobre teoría relacionadas con modelos de Inteligencia Artificial para predicción de amenazas. Esta investigación es de naturaleza mixta, incluye una encuesta. Se presentó un modelo de predicción de amenazas por incendios forestales para el cantón Guayaquil, formado por sensor de humedad, sensor de temperatura y cámara como dispositivos Internet de las Cosas, y algoritmo CNN de Inteligencia Artificial con su descripción gráfica, descripción textual, diagrama de flujo de datos y pasos de reducción del ruido en las imágenes. En general 33 de los 35 profesionales encuestados están de acuerdo en que el modelo si es adecuado para predicción de Incendios Forestales. Esto concuerda con la revisión sistemática, entre los 25 artículos, el algoritmo más utilizado para predicción o detección de Incendios Forestales es el algoritmo CNN.

Palabras claves: Internet de las Cosas, Inteligencia Artificial, Incendios Forestales, Predicción de Incendios.

ABSTRACT

Globally, millions of hectares of forests disappear due to flames, fires generate serious financial costs and victims. A serious problem that is generated with the appearance of Forest Fires is the extensive damage to forest surfaces. A basic cause of Forest Fires is the increase in the average temperature of planet Earth. Forest Fires must be avoided through the implementation of fire prevention or detection technologies. The general objective is to design a model to manage threats activated by Forest Fires in surveillance systems of the Guayaquil canton based on Artificial Intelligence and IoT. This work is prepared under the exploratory research method and deduction to analyze the references on theory related to Artificial Intelligence models for threat prediction. This research is mixed in nature, it includes a survey. A forest fire threat prediction model was presented for the Guayaquil canton, consisting of a humidity sensor, temperature sensor and camera as IoT devices, and an Artificial Intelligence CNN algorithm with its graphic description, textual description, data flow diagram and image noise reduction steps. In general, 33 of the 35 professionals surveyed agree that the model is suitable for predicting Forest Fires. This agrees with the systematic review, among the 25 articles, the most used algorithm for prediction or detection of Forest Fires is the CNN algorithm.

Key words: Internet of Things, Artificial Intelligence, Forest Fires, Fire Prediction.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA	14
2.1. Incendios forestales (IF).....	14
2.2. Internet de las Cosas IoT	14
2.3. Algoritmos de IA.....	14
2.4. Inteligencia Artificial en prevención o detección de IF	15
3. METODOLOGÍA	17
4. RESULTADOS.....	18
5. DISCUSIÓN	29
6. CONCLUSIÓN.....	31
REFERENCIAS	32

1. INTRODUCCIÓN

Los Incendios Forestales (**IF**) siguen en aumento de frecuencia y magnitud a nivel local y global, que es provocada por cambios meteorológicos y calentamiento global, que proyectan graves amenazas a las personas, animales, las propiedades y todo entorno ecológico. A nivel global, millones de hectáreas de bosques desaparecen por las llamas, los incendios generan serios costos financieros y víctimas. La propagación de los IF que es un aspecto del comportamiento de los incendios, es una característica que pone a la vista los combustibles desde su combustión hasta su conclusión. Existen modelos de propagación de IF que determina relaciones cuantitativas entre parámetros como propiedades del combustible, factores meteorológicos, terreno, y la conducta de los IF de acuerdo a la velocidad de propagación. Los IF tienen factores importantes como las condiciones meteorológicas, condición topografía, la vegetación, distancia a los caminos-vías, la elevación del fuego, la distancia de la línea de fuego, la cobertura de vida vegetal, temperatura del aire, cantidad de precipitaciones, la humedad del clima, dinámica del incendio, vida humana, los impactos del clima, variables socioeconómicas, oposiciones regionales, variación de indicadores climáticos, ubicación del bosque, tipo de especie vegetal, frecuencia del incendio, ligereza del viento (Sun et al., 2024).

Un problema grave que se genera con la aparición de IF son los grandes daños a las superficies de bosques. Una causa básica de los IF es el aumento de la temperatura media del planeta Tierra. Otros factores que contribuyen son la negligencia humana, vegetación combustible, tormentas eléctricas y relámpagos que estimulan la deforestación con alto impacto en la vida humana. Se registran más de 100 mil IF a nivel global en cada año. Por otra parte, la detección temprana o predicción es un factor importante contra los IF. Además, en la predicción se pueden incluir factores como el clima, fuentes de ignición, sequedad de elementos inflamables y el terreno; estos factores ayudan a analizar y predecir el riesgo en el bosque. Para detectar IF, existen otros métodos como uso de satélites, observadores humanos y reporteros (Pawar et al., 2022).

Por otra parte, el autor Gaikwad confirma que los IF son estimulados por las condiciones ambientales como la sequedad, que se mantiene en el tiempo y al volverse masivos se complican en controlar. Esta clase de suceso conocido es más frecuente durante el verano. Las casas y personas están en riesgo de estar en medio de IF, por las áreas extendidas como regiones áridas, mediterráneas y abrasadoras. Los IF son espontáneos en su inicio que puede ser un rayo o calor del sol. Otras actividades de las personas como cigarrillos desechados, fogatas abandonadas,

entre otros, impulsan el cambio de clima y generan incendios grandes e intensos. La prevención de IF evita que grandes cantidades de espacio forestal se degrade, el entorno natural de los animales como el suelo se conserva resistente, consume el dióxido de carbono, se evita la pérdida de plantas, animales y otra biodiversidad. Es necesario mantener el hábitat de la vida silvestre, evitar la merma del entorno natural, evitar reducir la cubierta forestal, disminuir el calentamiento global, entre otros (Gaikwad et al., 2022).

De acuerdo a Pandey, se utilizan tecnologías para la gestión de IF; se puede integrar IoT, 5G e Inteligencia Artificial para evitar incendios, entender y caracterizar los riesgos; estas tecnologías pueden converger en sistemas con varias funciones. Por ejemplo, drones con tecnología geoespacial, inteligencia artificial, sensores IoT, también vehículos terrestres para detectar incendios preparados por Inteligencia Artificial o modelos (Pandey et al., 2023).

Por otra parte, existen otros factores importantes contra los IF como predicción, detección, categorización, respuestas rápidas bomberos para minimizar los daños y evitar pérdida de vidas humanas. Existen tres categorías en predicciones de IF: 1) predicción meteorológica basado en riesgo de elementos meteorológicos, 2) predicción de la ocurrencia de IF basada en elementos meteorológicos, combustibles y fuentes de fuego, 3) predicción del comportamiento de los IF basada en elementos meteorológicos, combustibles y aspectos del terreno (Hristov et al., 2019).

De acuerdo al reporte de la Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador, desde el 1-enero-2024 hasta 31-enero-2024, en 14 provincias, 41 cantones y 78 parroquias se expusieron 122 incendios forestales, con una merma de 2513 hectáreas de bosques o cobertura vegetal. Las principales provincias con más pérdidas son Chimborazo, Pichincha y Carchi (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2024).

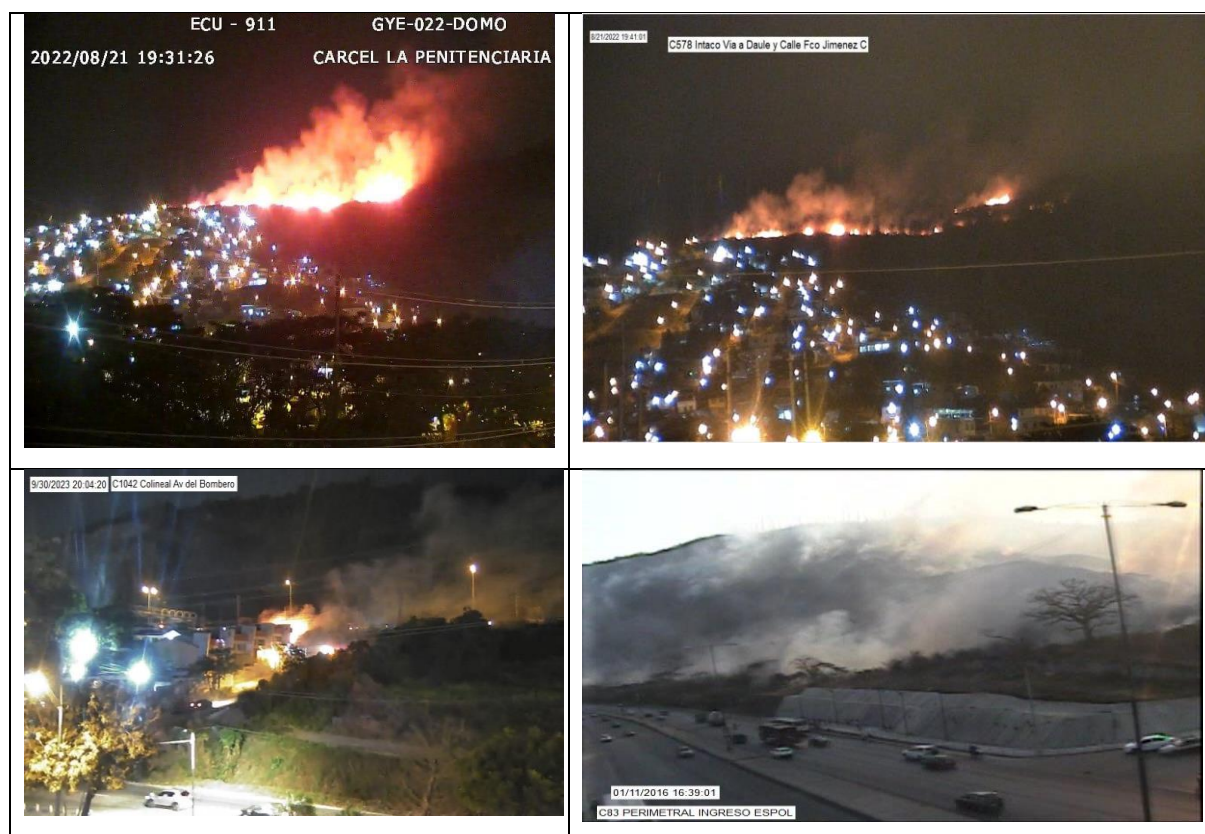
De acuerdo al Cuerpo de Bomberos de Guayaquil (BCBG), en el año 2020, 2021 y 2022 y 2023 existieron 1103, 1155, 1012, 1012 y 1021 incendios forestales respectivamente, los meses con más incidencia están entre Agosto y Noviembre con promedio de 180 IF mensuales con maleza prendida. El BCBG mantiene los IF clasificados como: IF por quema agrícola, IF alarma 1, IF alarma 2, IF alarma 3 e IF alarma 4 (BCBG, 2024). Ver tabla 1 de fotos de incendios en la ciudad de Guayaquil.

Esta investigación es importante a nivel ambiental, porque es necesario proponer una solución adicional por causa del enorme riesgo para la vida silvestre y contrarrestar los IF. Al momento

que se inicia un IF, es complicado controlarlo ante los daños irreversibles que causa, entonces el detectar o predecir un IF es un desafío. Por ello se propone utilizar técnicas de IA para predecir la posible aparición de un incendio. Es posible utilizar algunos parámetros básicos en la ocurrencia de IF para posibilitar las predicciones de incendios. Es importante proteger el medio ambiente mediante la detección adecuada y la alígera eliminación de los IF.

Esta investigación es importante a nivel científico, porque ofrece un modelo basado en IA para detección oportuna y precisa de IF; existen técnicas de predicción o detección temprana de incendios basados en muestreo de partículas, temperatura, humedad, aire y humo. La predicción de IF es un elemento importante de la Gestión de Incendios Forestales por la importancia en la concesión de recursos, los esfuerzos de mitigación y recuperación.

Tabla 1. Incendios forestales en Guayaquil.



Fuente: Autor.

El objetivo general es:

Diseñar un modelo para gestionar las amenazas activadas por incendios forestales en sistemas de vigilancia del cantón Guayaquil basado en Inteligencia Artificial e IoT.

Los objetivos específicos son:

- Analizar modelos anti incendios forestales con IA para conocer las actualidades y tendencias mediante la revisión literaria.
- Diseñar un modelo en sistemas de vigilancia para predicción de las amenazas por incendios forestales del cantón Guayaquil basado en Inteligencia Artificial y parámetros de IoT.
- Evaluar el modelo de sistemas de vigilancia para determinar posibles mejoras mediante una encuesta a profesionales en TIC.

Los IF deben evitarse a través de la implementación de tecnologías en prevención o detección de incendios; aunque existen obstáculos como el alto costo, conectividad especializada, los errores en detectar el encendido, falta de confianza de los sistemas e instalaciones innecesarias.

Esta investigación propone diseñar un modelo general para predicción de IF basado en algoritmo de Inteligencia Artificial. La investigación que se realiza determina que algoritmo es el apropiado o con mejor tendencia en la predicción de incendios.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Incendios forestales (IF)

Un IF no mantiene una identificación específica, pero puede ser detectado o precedido; el fuego se extiende por viento u otros factores, y se convierte una tormenta de fuego. Los IF tienen un papel importante en el valor de los paisajes y ecosistemas; Si un IF está fuera de control, entonces las pérdidas son incalculables por el daño al entorno natural, por la afectación a árboles, animales silvestres y seres humanos (Angayarkkani & Radhakrishnan, 2021).

Los IF son desastres frecuentes que ocurren a lo ancho del planeta Tierra y por lo general devastan el ecosistema ambiental, ocurre un quebranto significativo en la calidad del aire; existe una aceleración en la misma cantidad de hectáreas quemadas; lugares fríos como Siberia y lugar húmedo como el Amazonas, han tenido incendios fuertes (Hristov et al., 2019).

2.2. Internet de las Cosas IoT

IoT es una red de dispositivos conectados entre sí e intercambian datos para realizar actividades comunes y alcanzar objetivos; la clase de red mantiene una dependencia de Internet. El aumento de dispositivos IoT está enlazado al crecimiento en seguridad y privacidad. Además, existen nuevos riesgos y desafíos en materia de seguridad que aumentan las amenazas y los posibles ataques para extraer datos sensibles (Adam et al., 2024).

Los entornos IoT están encaminadas a lo físico, capas de red y de aplicación. Cada capa de IoT proyecta sus requisitos; el mundo real es capturado por sensores IoT que generan datos y los introducen a las aplicaciones informáticas, los usuarios pueden utilizar los datos e interpretar o los actuadores IoT pueden ejecutar órdenes (Yokotani et al., 2023).

2.3. Algoritmos de IA

De acuerdo a los artículos revisados se encontraron los siguientes algoritmos IA:

Algoritmos Machine Learning: XGB, LGB, GBoost (Sun et al., 2024), Logistic Regression LR, Support Vector Machine SVM, Multiple Linear Regression MLR (Pawar et al., 2022), Bayesian Network (BN), Random Forest (RF), Decision Tree DT, (Gaikwad et al., 2022), Genetic Algorithm, Fuzzy Logic, Multilayer Perceptron (MLP), Artificial Neural Networks (ANN), Spatial Wavelet Analysis (SWA) (Gaikwad et al., 2022).

Algoritmos Deep Learning: CNN (Xie & Huang, 2023).

2.4. Inteligencia Artificial en prevención o detección de IF

El estudio se enfoca en la predicción del comportamiento de los IF, propone el pronóstico en la ocurrencia de IF; toma datos como la dirección del incendio y velocidad en la propagación, muestran en forma visual y grafica los datos; las predicciones de incendio comprenden el área quemada. Utilizan los algoritmos de Machine Learning como XGB, LGB y GBoost (Sun et al., 2024).

El artículo se enfoca en la predicción de IF mediante parámetros ambientales. El modelo que proponen utiliza tres factores como oxígeno, temperatura y humedad que son básicos del fuego. Los autores compararon la exactitud, precisión, recuperación entre estos modelos. Utilizan los algoritmos LR, SVM y MLR. Aquí, LR muestra mejor puntuación para predicción (Pawar et al., 2022).

El trabajo de (Gaikwad et al., 2022) analizaron las técnicas inteligencia artificial: Genetic Algorithm, Fuzzy Logic, DT, MLP, ANN, RF, SWA, BN. Los algoritmos fueron probados con datos de incendios forestales como temperatura, humedad relativa, viento, lluvia y el mes-día en que se registraron las lecturas. El algoritmo con mejor puntuación es DT con 98.4%.

Para detectar IF utilizan la escena de fotografía aérea que mantiene predominio del humo, un fondo complejo y baja precisión de detección; esto lo resuelven con aprendizaje por transferencia con una variante mejorada del algoritmo CNN. De acuerdo a experimentos se obtiene una precisión de detección 93% que es mayor al 18% del método tradicional (Xie & Huang, 2023).

El trabajo detecta IF mediante datos espaciales en tres pasos de pre-procesamiento, entrenamiento y detección; utilizan imágenes o fotografías de incendios, aplican filtrado y conversión de colores, segmentación de regiones. Los autores afirman que las zonas de incendio se verifican y detectan en forma eficaz (Angayarkkani & Radhakrishnan, 2021).

El artículo propone la detección temprana de IF en forma autónoma y sin mediación humana; fue planeado para la zona mediterránea de los Balcanes e iniciar la cooperación entre varios países del área como Bulgaria, Grecia y Chipre. El sistema utiliza cámaras y vehículos aéreos para captar fotos, además, utiliza una variación del algoritmo CNN (Hristov et al., 2019).

Este artículo muestra un algoritmo de predicción de IF basado en SVM; los datos utilizados son de las condiciones climáticas como velocidad del viento, temperatura, humedad, lluvia, mes, radiación solar; estos datos son de Líbano (Sakr et al., 2020). En este artículo, en la detección temprana de IF proponen el monitoreo de basado en CNN que analiza las imágenes aéreas (Li et al., 2021).

El artículo utiliza Deep Learning para detectar incendios en videos, usan el algoritmo CNN en imágenes de incendios para ahorrar tiempo y recursos, y esto es compatible a través del entrenamiento de conjuntos de datos (Karthi et al., 2023). El sistema utiliza parámetros como calor, humedad y la cantidad de carbono que son obtenidos desde sensores del bosque, utiliza Fuzzy Logic para decidir la probabilidad de incendio (Gupta et al., 2023).

Para detectar IF en tiempo real, utiliza nodos inteligentes y dispositivos IoT, el sistema muestra la capacidad de obtener el mínimo cambio sobre los parámetros ambientales observados, y determina la dirección y velocidad de expansión del fuego (Pettorru et al., 2023). Se propone un sistema de sensores para recopilar datos, que son útiles para un plan para minimizar animales peligrosos, se utiliza IoT y Big Data en línea (Krishnaveni et al., 2023).

Este estudio utiliza un dron para el monitoreo forestal y control mediante algoritmos de detección. Los algoritmos reconocen objetos y anomalías para detectar posibles incendios forestales. Fue implementado y presenta directrices para uso de drones (Borah et al., 2024).

El estudio presenta un método con capacidades IoT e IA en conjunto, recopila datos en línea desde las regiones boscosas por medio de sensores remotos y realiza predicciones (Mohanty, 2024).

3. METODOLOGÍA

Para analizar modelos anti incendios forestales con IA y conocer las tendencias se utiliza la revisión de literatura presentada en (Phillips et al., 2024) que se basa en seis pasos: a) Preguntas de investigación, b) Criterios de elegibilidad, c) Fuentes de información, d) Búsqueda, e) Selección de evidencias, f) Extracción de datos. Se utiliza la técnica de la observación, el enfoque cualitativo y enfoque cuantitativo.

Al diseñar un modelo en sistemas de vigilancia para predicción de las amenazas por incendios forestales del cantón Guayaquil es necesario el enfoque cualitativo para describir el o los algoritmos que se utilizan en la predicción de amenazas forestales. Se utiliza la investigación empírica, que estudia la factibilidad de una alternativa o solución mediante evidencias empíricas. La solución determinará que algoritmo basado en Inteligencia Artificial es más apropiado para la predicción de IF (Incendios Forestales)

En la evaluación del modelo de sistemas de vigilancia más apropiado se utiliza la técnica de la entrevista que se realiza a profesionales en TIC, y se diseña una encuesta para entrevista al menos a 30 profesionales.

4. RESULTADOS

Los resultados se basan en el análisis del entorno, el modelo, y la evaluación del modelo.

Después de la revisión literaria se obtuvieron 25 artículos científicos sobre IF, IoT e IA. En estos 25 documentos se realizó la extracción de datos, el primer grupo fue los algoritmos de IA que se utilizan, el segundo grupo fueron los factores que se consideran para detectar o predecir los IF, el tercer grupo fue los tipos de modelos utilizados, el cuarto grupo fue las tecnologías utilizadas en los modelos, un quinto grupo fue los tipos de resultados generados en los modelos revisados. La tabla 2 presenta los 25 artículos seleccionados agrupados en predicción y detección de incendios.

Tabla 2. Artículos.

	Investigaciones	Cantidad
Predicción	(Sun et al., 2024), (Pawar et al., 2022), (Gaikwad et al., 2022), (Sakr et al., 2020), (Pandey et al., 2023), (Mohanty, 2024), (Mekala et al., 2023), (Purcell et al., 2023), (Nguyen-Anh & Le-Trung, 2020), (Varun et al., 2023)	10
Detección	(Xie & Huang, 2023), (Angayarkkani & Radhakrishnan, 2021), (Hristov et al., 2019), (Kinaneva et al., 2019), (Li et al., 2021), (Karthi et al., 2023), (Gupta et al., 2023), (Pettorru et al., 2023), (Borah et al., 2024), (Kumar et al., 2023), (Ishitha et al., 2021), (Selvi et al., 2023), (Murugesan et al., 2024), (Suklabaidya & Das, 2023), (Venkataramanan et al., 2023)	15

Fuente: Autor.

Se hallaron 17 algoritmos, se presentan porcentajes de cada algoritmo en relación al 100%. XGB en 4%, LGB en 4%, Gboost en 4%, Logistic Regression en 8%, SVM en 20%, MLR en 12%, KNN en 4%, LSTM en 4%, Genetic Algorithm en 4%, Fuzzy Logic en 12%, Decision Tree en 12%, Multilayer Perceptron (MLP) en 4%, Artificial Neural Networks (ANN) en 12%, Random Forest (RF) en 12%, Spatial Wavelet Analysis en 4%, Bayesian Network en 12%, CNN en 52%. Se entiende que CNN es el algoritmo más utilizado en 13 artículos de los 25.

Algunas de las razones para utilizar CNN son: se utiliza parámetros de la CNN que son entrenados desde un conjunto de datos, extracción de características del incendio y luego las clasifica para realizar la detectar el IF, mejora la precisión y eficiencia de la detección de IF (Xie & Huang, 2023). Tiene operaciones de agrupación que minimizan la resolución de los

datos, puede restaurar las imágenes a su resolución original. Permite la localización más precisa de las características de un incendio (Selvi et al., 2023).

Otros autores confirman su fuerte uso por la extracción de características y detección de incendios. En la fase de detección de incendios el algoritmo CNN mantiene una red conectada para clasificar o categorizar las características en incendio o no incendio; en la fase de extracción de características la red entrenada obtiene las características visuales. CNN es mejor que otras técnicas convencionales para detectar incendios y obtiene una alta precisión (Selvi et al., 2023).

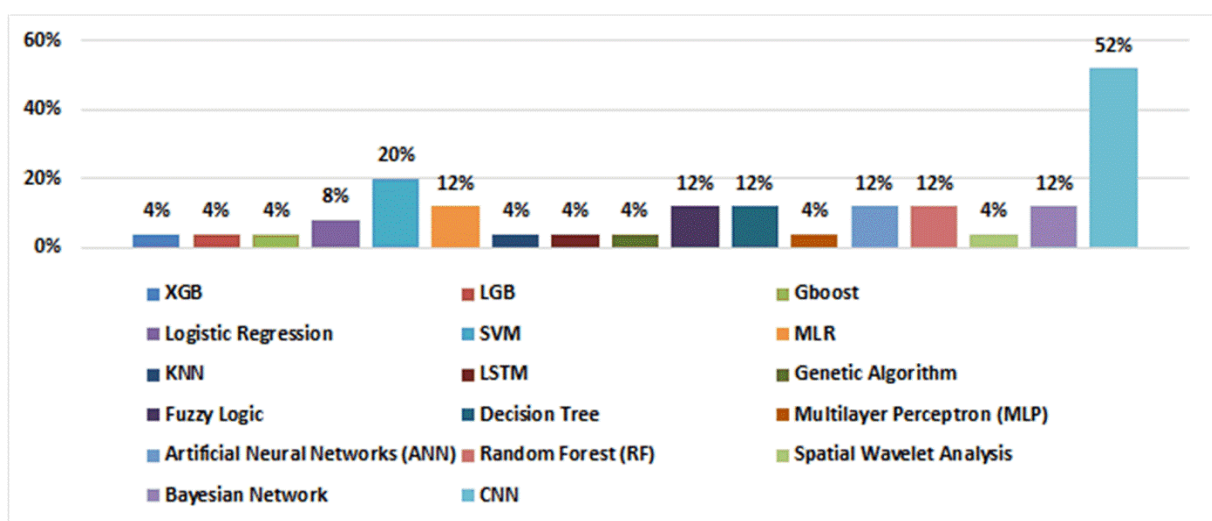


Figura 1. Algoritmos de Inteligencia Artificial.

Se hallaron 13 factores que son procesados por los algoritmos IA que son: la Dirección del viento en 12%, Velocidad del Viento en 24%, Oxígeno en 16%, Temperatura en 60%, Humedad en 44%, Llama de fuego en 12%, Sonido en 4%, Sequedad en 16%, Lluvia en 12%, Monóxido de Carbono en 24%, Tiempo en 12%, Radiación Solar en 12%, Fotografía en 32%. Se entiende que la temperatura, la humedad y el viento son los primeros factores ambientales que son capturados y procesados en los modelos analizados; las fotografías o videos son el factor procesado por los algoritmos CNN en 8 artículos.

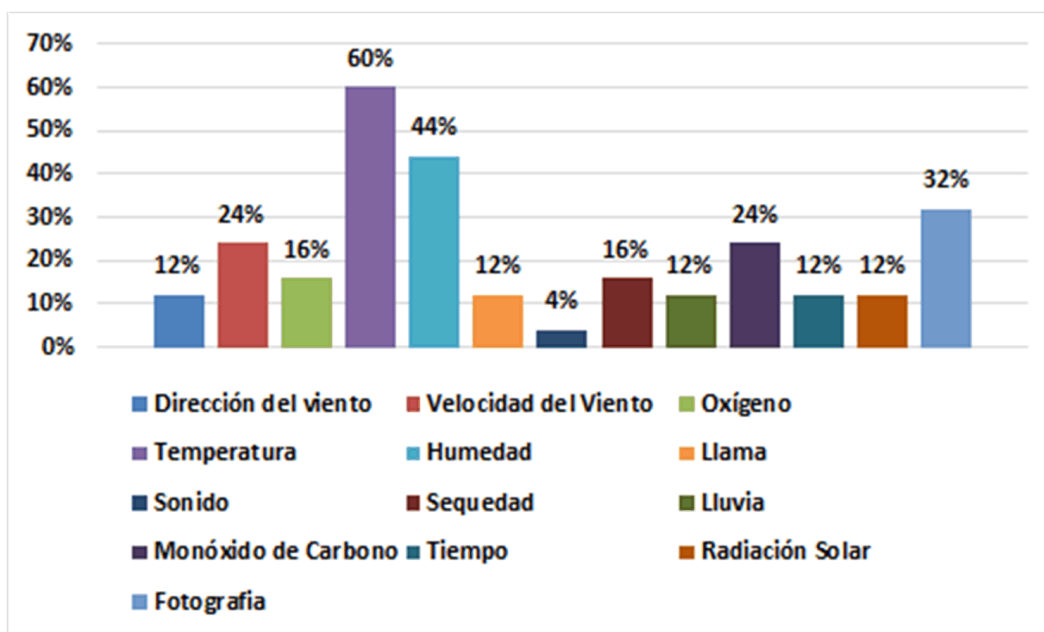


Figura 2. Factores analizados.

Se hallaron dos tipos de modelos como predicción en 40% es decir 10 modelos, y detección en 60% es decir 15 modelos. Un modelo o sistema de IA solo se enfoca en un tipo de modelo. En la tabla 1 se mostraron los artículos agrupados en tipos. Por otra parte, 4 artículos de Predicción utilizan el algoritmo CNN, 9 artículos de Detección utilizan el algoritmo CNN.

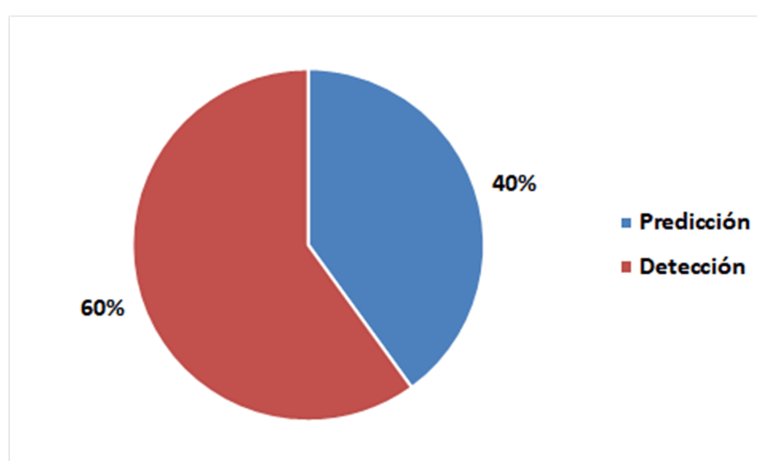


Figura 3. Tipos de modelos.

Los 25 artículos presentaron modelos o sistemas basados en IA, pero solo en 20 artículos se hallaron dos tecnologías adicionales que utilizan sistemas anti IF. La tecnología IoT en 64% es decir en 16 artículos, y GSM en 16% es decir en 4 artículos. Solo en 4 artículos se utilizan IoT y GSM juntos, es decir los dispositivos IoT se comunican por GSM. Por otra parte, 9 artículos solo se presentan con la utilización de algoritmos IA para mitigar los incendios.

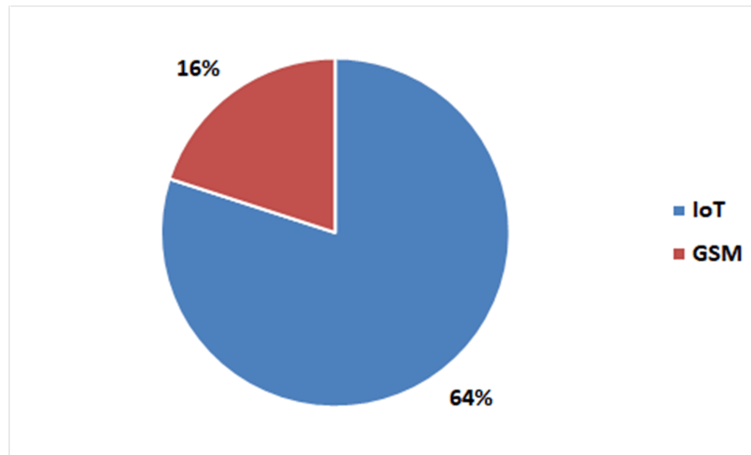


Figura 4. Tecnologías adicionales.

Se hallaron tres tipos de resultados entre los artículos. En Diseño en 76% es decir 19 artículos presentaron la figura o delineación del modelo. En Implementación en 68% es decir 17 artículos presentaron el sistema desarrollado o puesto en marcha. En Simulación-Pruebas en 92% es decir 23 artículos presentaron las pruebas reales del desarrollo o presentaron la simulación en software basado en datos. Además, 12 artículos realizaron el diseño, la implementación y la simulación del modelo.

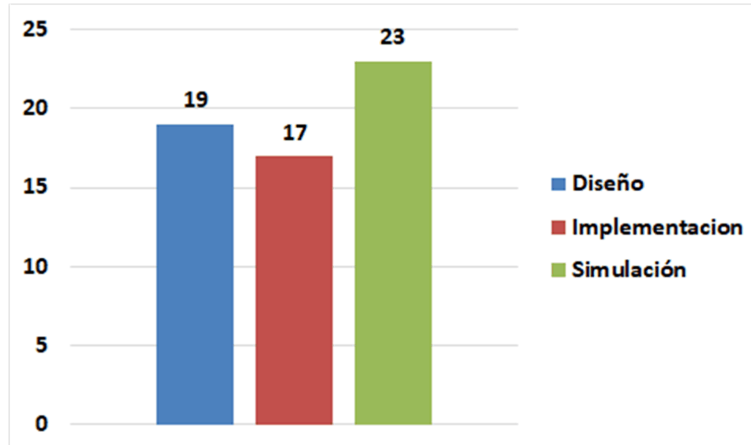


Figura 5. Tipos de resultados.

De acuerdo a los conceptos y a la revisión literaria se adopta y se proporciona un modelo conceptual de vigilancia para predicción de IF para el cantón Guayaquil. Las tecnologías utilizadas son IoT e IA, el modelo notifica a las autoridades forestales sobre un posible incendio. Se utilizan sensores de temperatura y humedad y algoritmo CNN, el modelo puede identificar el IF, especificar su ubicación y luego alertar. El modelo puede monitorear en forma continua

con los sensores e imágenes o videos de incendios. Los datos que se guardan sobre temperatura, humedad e imágenes, son accesibles desde cualquier momento y lugar. Se utiliza la red neuronal que es un sub-campo de la IA, se utiliza CNN porque es posible eliminar el ruido de las imágenes, extraer características para separar las zonas de fuego, extraer características de color, categorizar los píxeles para facilitar una eficaz alerta móvil.

4.2.1 Diagrama de flujo

La figura 6 muestra el diagrama de flujo del modelo propuesto, se divide en los siguientes pasos:

Paso 1: Iniciar el proceso.

Paso 2: Leer datos desde el sensor de temperatura, sensor de humedad y cámara.

Paso 3: Si temperatura es mayor que el umbral entonces seguir a paso 4 sino regresar a paso 2.

Paso 4: Si humedad es menor que el umbral entonces seguir a paso 5 sino regresar a paso 2.

Paso 5: Obtener la foto o video desde la cámara.

Paso 6: Enviar temperatura, humedad, foto, identificación y localización de dispositivos hacia la nube.

Paso 7. Guardar datos en la nube.

Paso 8. El algoritmo CNN se entrena con los datos históricos, se realiza la prueba y clasificación con los nuevos datos.

Paso 9. Se envía notificación a interesados y activar alarma.

Paso 10. Fin del proceso.

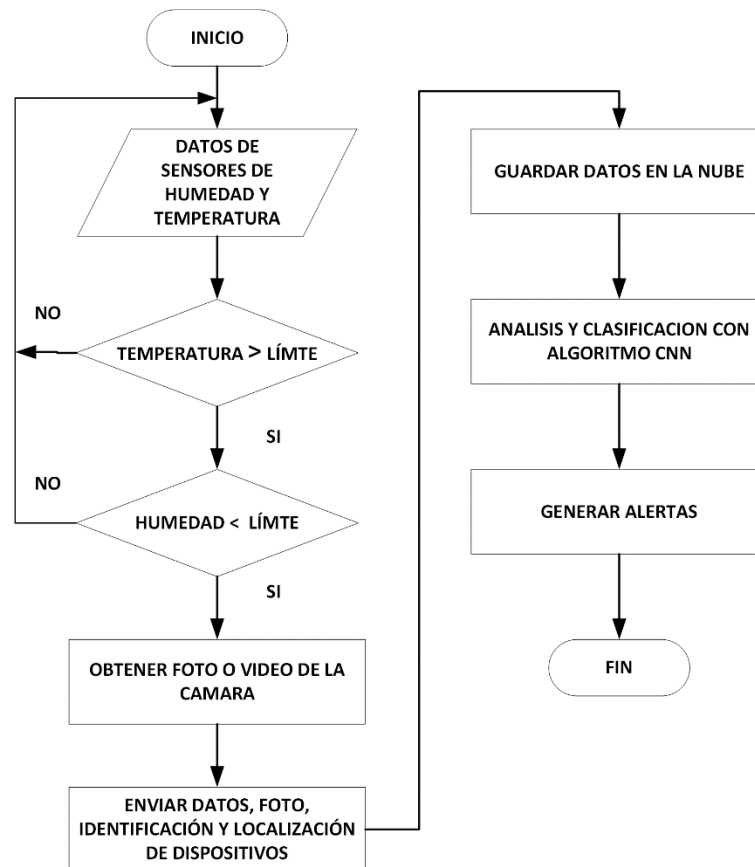


Figura 6. Algoritmo para predicción de IF.

4.2.2 Modelo de predicción

La categoría de este modelo propuesto es “Predicción Meteorológica” que es basado en riesgo de elementos meteorológicos. Sólo se considera monitorear la temperatura y humedad porque existe una correlación positiva entre las altas temperaturas y la baja humedad, esto aumenta el riesgo de IF (Mekala et al., 2023). Por lo general, la alta humedad y las bajas temperaturas se relacionan con una menor probabilidad de IF; por otra parte, la baja humedad y las altas temperaturas se relacionan con una mayor probabilidad de IF. Aunque, esta relación es compleja y no lineal, y depende de otros factores como el tipo de vegetación, la topografía y la velocidad del viento. Entonces, en su posible implementación se puede evaluar el rendimiento del modelo mediante las métricas como precisión, exactitud, puntuación y recuperación.

Para el seguimiento y predicción de IF. El modelo genera interpretabilidad y clasificación inmediata. El enfoque algorítmico de CNN predice y responde ante amenazas ambientales en tiempo real, esto contribuye a mejores esfuerzos de conservación ambiental.

En el diagrama de bloques mostrado en la figura 7, se presenta un área de bosque con sensores IoT que capturan datos en tiempo real sobre la temperatura y humedad, además, una cámara para toma de fotos o videos. Los datos capturados se envían a una puerta de enlace IoT, que es un puente entre los dispositivos y la plataforma en la nube. El modelo obtiene en forma persistente los datos desde los sensores IoT y cámara, estos datos se acumulan en la nube. Se utiliza el algoritmo CNN para identificar patrones y anomalías asociados con incendios forestales y clasificarlas. Luego detectada el posible riesgo o incidencia se impulsa el sistema de alerta. Desde la nube, el mensaje SMS se envía por medio de una puerta de enlace, además se envía la alerta, la identificación-ubicación del dispositivo IoT. La alerta notifica a las autoridades e interesados para tomar acciones en forma inmediata y mitigar las amenazas identificadas.

Para la posible implementación y utilización del algoritmo CNN en el modelo se presentan los siguientes pasos:

1. Pre-procesamiento de imágenes, para recopilar datos de imágenes de fuentes apropiadas y pre-procesarlos para eliminar el ruido, mejorar hacia un tamaño estándar, se debe etiquetar las imágenes como “fuego” o “sin fuego”.
2. Dividir los datos en Conjunto de Entrenamiento (CE) y Conjunto de Prueba (CP), el primer CE se utiliza para entrenar la red CNN, y el segundo CP se utiliza para evaluar el rendimiento de la red CNN.
3. Definición de la arquitectura CNN, es un conjunto de capas que logra procesar los datos de toda imagen y efectúan predicciones. Contiene capas convolucionales, capas de agrupación y capas conectadas. Es posible experimentar con diferentes arquitecturas-modelos para obtener la mejor segmentación.
4. Entrenar la red CNN, el entrenamiento se realiza con el CE de imágenes etiquetadas. Durante este entrenamiento, la red CNN aprende para clasificar o reconocer patrones en las imágenes que conciernen a “fuego” o “no fuego”. La red CNN tiene métricas como exactitud, precisión y recuperación para verificar la predicción de IF.
5. Evaluar la red CNN: Se utiliza el CP de imágenes etiquetadas para evaluar el rendimiento.

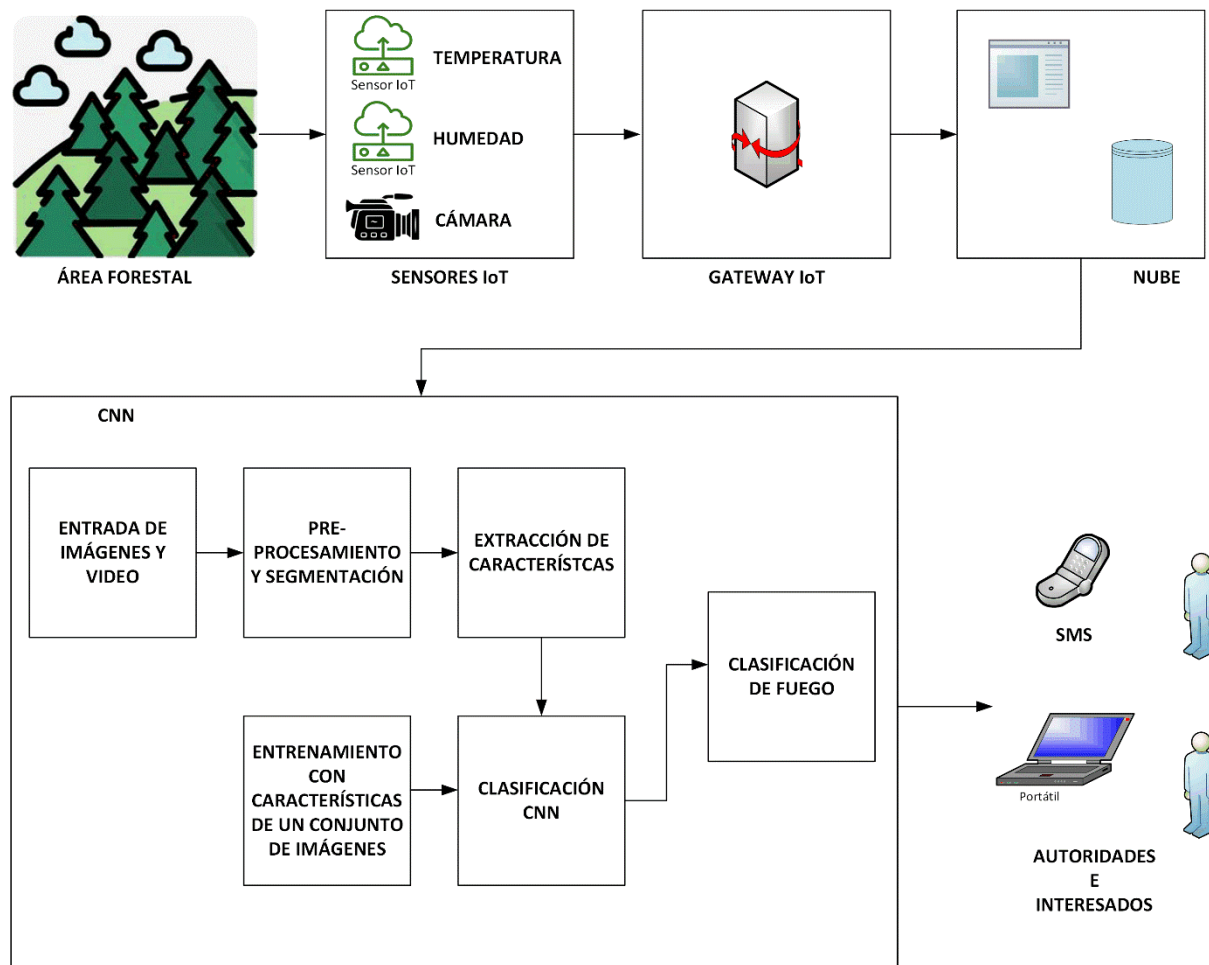


Figura 7. Modelo IoT e IA para predicción de IF.

4.2.3 Reducción de ruido en las imágenes

Se presentan los pasos para la reducción de ruido en las imágenes captadas desde el bosque.

A. Pre-procesamiento de imágenes

Este es un paso básico hacia la visión por computadora y análisis de las imágenes captadas, envuelve la atención de técnicas básicas en las imágenes sin procesar. Las técnicas como cambiar las imágenes hacia una resolución estándar para obtener similitud y disminuir la complejidad computacional. Llevar los valores de píxeles hacia un rango estándar mejorar la convergencia durante la fase de entrenamiento de la red. La iluminación de la imagen se optimiza con filtros de reducción de ruido. Para eliminar el ruido no deseado se puede utilizar la técnica el Valor Mediano o Filtro Medio.

B. Extracción de características

En CNN, la extracción de características se obtiene a través de capas convolucionales (CN) y capas de agrupación (CA). Las CN son técnicas que destinan un filtrado a los datos de entrada, luego capturan patrones y características específicas mediante operaciones de convolución. Luego aplican funciones de activación, que induce no linealidad en las características aprendidas. Después, las capas de agrupación disminuyen la muestra de los mapas de características, estos seleccionan los valores promedio en las regiones locales. Esta reducción mantiene datos importantes y reduce la complejidad computacional. CNN tiene múltiples CN y CA apiladas, cada una de estas capas capturan características abstractas y complejas de la entrada. Se recomienda utilizar la “Agrupación Promedio Global” para disminuir las dimensiones espaciales antes de nivelar los mapas de características. El resultado final es un “conjunto de representaciones jerárquicas y abstractas”, que sirven para las actividades de reconocimiento de patrones y clasificación durante el análisis de imágenes.

C. Clasificación

Para la clasificación en CNN, las características jerárquicas extraídas por medio de las CN y CA se convierten en un vector unidimensional aplanado. Este vector se proporciona a las capas funcionales que son clasificadores. En el interior de estas capas, las neuronas se conectan-enlazan a cada neurona de la capa anterior, para permitir a la red detectar relaciones complicadas entre características. Las capas conectadas-enlazadas proporcionan puntuaciones de salida sin procesar hacia cada clase. Para transformar estas puntuaciones en probabilidades, se aplica una función de activación en la capa de salida, por lo general se aplica SoftMax para clasificación en clases múltiples. Luego se crea una distribución de probabilidad entre las clases potenciales. Finalmente, la *predicción final* se designa a la clase que mantiene la mayor probabilidad. La clasificación permite a la red CNN aprovechar en forma efectiva las funciones aprendidas para obtener una clasificación más precisa en actividades como el reconocimiento de imágenes.

Se entrevistaron en forma remota a 35 profesionales, a los entrevistados se les suministró el link y el documento con la descripción del modelo. Entre los 35 profesionales, 66% son ingenieros en sistemas (23 personas), 31% son ingenieros en computación (11 personas) y 3% son ingenieros en software (1 persona).

Entre ellos 63% trabajan en el sector público (22 personas) y 37% trabajan en el sector privado (13 personas).

A continuación, se analizan las respuestas de la entrevista.

¿El modelo describe los componentes? En general 91% (32 personas) están de acuerdo y completamente de acuerdo en que el modelo presentado si describe los componentes. El 9% (3 personas) se mantiene neutro.

¿El modelo utiliza componentes IoT y algoritmo IA? En general 97% (34 personas) están de acuerdo y completamente de acuerdo en que el modelo si utiliza en forma apropiada los dispositivos IoT como sensor de temperatura y sensor de humedad; además están de acuerdo en la utilización del algoritmo CNN. El 3% (1 persona) se mantiene neutro.

¿Considera que el algoritmo CNN es adecuado para predecir incendios forestales? En general 94% (33 personas) están de acuerdo y completamente de acuerdo en que el modelo si es adecuado para predicción de IF. Esto concuerda con la revisión sistemática, entre los 25 artículos el algoritmo más utilizado para predicción o detección de IF es el algoritmo CNN. El 6% (2 personas) se mantienen neutro.

¿Considera que la descripción del algoritmo CNN es clara dentro del modelo? En general 94% (33 personas) están de acuerdo y completamente de acuerdo en que la descripción gráfica del algoritmo utilizado si es claro, además los entrevistados revisaron la descripción textual dentro del documento. El 6% (2 personas) se mantienen neutro. Esta respuesta concuerda con la respuesta anterior que consideran que el algoritmo CNN es adecuado para predecir IF.

¿El sensor de humedad, el sensor de temperatura y cámara son suficientes dispositivos para predicción de incendios forestales? En general 82% (29 personas) están de acuerdo y completamente de acuerdo en que son suficientes los dispositivos para captar los datos desde el bosque. Un 9% (3 personas) se mantienen neutro. El otro 9% (3 personas) están en desacuerdo.

¿Adicionaría usted al modelo otro algoritmo de IA? Aunque los ingenieros están de acuerdo en el uso del algoritmo CNN, en general el 80% (28 personas) están de acuerdo con adicionar otro algoritmo al modelo. Un 9% (3 personas) se mantienen neutro. El resto, 11% (4 personas) no adicionarían otro algoritmo.

¿Adicionaría usted al modelo otro dispositivo IoT? Aunque los ingenieros están de acuerdo el uso los dispositivos IoT en el modelo presentado, en general 85% (30 personas) están de acuerdo con adicionar más dispositivos IoT. Un 9% (3 personas) se mantienen neutro. El resto, 6% (2 personas) no adicionarían otro dispositivo.

¿Recomienda mejorar el modelo? Aunque los ingenieros están de acuerdo con el modelo presentado, ellos consideran que se puede mejorar en sentido de utilizar más dispositivos IoT y algoritmos IA. Por esta razón, el 77% está de acuerdo en mejorar este modelo. Un 17% (6 personas) se mantienen neutro. El resto, 6% (2 personas) no cambiarían el modelo porque es complicado mantener dispositivos IoT en el bosque.

¿Qué sensor de IoT adicionaría al modelo? Aquí, una persona puede recomendar varios sensores. Entonces, 15 personas recomiendan adicionar sensor de velocidad del viento y dirección del viento; 13 personas recomiendan adicionar sensor de radiación solar; 9 personas recomiendan adicionar sensor de humo; 6 personas recomiendan adicionar sensor de oxígeno; 4 personas recomiendan adicionar sensor de llama.

¿Qué algoritmo de IA adicionaría al modelo? Aquí, una persona puede recomendar varios algoritmos. Entonces, 12 personas recomiendan adicionar algoritmo Logistic Regression y Random Forest; 6 personas recomiendan adicionar algoritmo KNN y Decision Tree.

5. DISCUSIÓN

Este modelo tiene algunas ventajas como que la utilización de algoritmos de IA que logra el objetivo de alcanzar predicciones más precisas afirmadas en datos históricos. Generar una alerta temprana ante posibles IF para que las autoridades tomen medidas preventivas y minimizar el riesgo de incendio. La parte fundamental en la predicción de IF es la generación de predicciones en tiempo real confirmadas en los valores actuales de temperatura y humedad. El modelo se basa en datos que permiten al modelo predictivo se mejore en forma continua de acuerdo a nuevos datos. El modelo es más económico en comparación con otros métodos tradicionales de monitoreo-predicción de IF porque no hay dependencia del trabajo manual. Además, la automatización minimiza la intervención manual y maximiza la eficiencia.

Aunque, la posible implementación del modelo sería en un bosque, no es posible utilizar una línea de transmisión de electricidad. Entonces, los dispositivos IoT deben ser 100% recargables con energía solar, es posible encontrar el fuego con técnicas de aprendizaje avanzadas. La predicción sobre la posibilidad de IF basados en la humedad y temperatura se puede conseguir a través de otros modelos estadísticos y algoritmos IA; además el algoritmo CNN es una forma sencilla de predecir la posibilidad de una humedad, temperatura y oxígeno de acuerdo a un conjunto de datos; aunque, los resultados de estos modelos varían de acuerdo a la cantidad y calidad de los datos y complejidad del problema.

Los resultados de esta investigación pueden discutirse en fortalezas, limitaciones y los factores considerados para el modelo. Aunque, por las implicaciones prácticas, la utilidad en alertar, gestión del incendio y mitigar los riesgos relacionados a IF son importantes. El modelo tendrá mejor capacidad con la obtención de nuevos datos desde el bosque para aumentar su solidez en las predicciones. Es importante considerar que el modelo propuesto debe ajustarse de acuerdo recursos, requisitos, topografía, ubicación geográfica, actividades humanas, y uso de tierra, porque influyen en la predicción de IF.

Esta investigación solo se enfoca en el modelo diseñado en IoT e IA; no se pretende presentar costos de hardware, software, tiempos de desarrollo, ni recurso humano para su implementación; no se presentan costos de la plataforma en la nube.

Es un desafío la predicción de IF en función de la humedad y la temperatura capturada por IoT, y es posible utilizarlo mediante técnicas de IA por algoritmo CNN. También es importante

señalar que la predicción de IF es una tarea compleja y todavía hay mucha investigación en curso en esta área. A menudo es necesario el uso de múltiples fuentes de datos, como imágenes satelitales, pronósticos meteorológicos y observaciones terrestres, para mejorar la precisión de las predicciones. En resumen, predecir IF utilizando datos de temperatura y humedad es un enfoque prometedor, pero es importante considerar otros factores y utilizar múltiples fuentes de datos para mejorar la precisión de las predicciones.

La localización de los IF es transcendental para preservar el medio ambiente y asegurar a los pueblos vecinos; al utilizar tecnologías de continua evolución como los entornos automáticos de predicción o detección de incendios, se optimiza la capacidad para mitigar los incendios en etapa temprana y actuar con celeridad para minimizar los posibles daños.

6. CONCLUSIÓN

De acuerdo a la revisión literaria sobre IA en Incendios Forestales se obtuvo 25 artículos, entre estos se hallaron 17 algoritmos de IA; se hallaron 13 factores que son procesados por los algoritmos IA; se hallaron dos tipos de modelos como predicción y detección; se encontró como tecnología adicional IoT y GSM; el algoritmo más utilizado en los modelos analizados es CNN.

Se presentó un modelo de predicción de amenazas por incendios forestales para el cantón Guayaquil, formado por sensor de humedad, sensor de temperatura y cámara como dispositivos IoT, y algoritmo CNN de Inteligencia Artificial con su descripción gráfica, diagrama de flujo de datos y pasos de reducción del ruido en las imágenes.

En general, 33 de los 35 profesionales encuestados están de acuerdo en que el modelo si es adecuado para predicción de IF. Esto concuerda con la revisión sistemática que entre los 25 artículos, el algoritmo más utilizado para predicción o detección de IF es CNN.

Se concluyó que la integración de IoT e IA mantiene gran potencial de evolucionar los entornos de alerta temprana y seguimiento en tiempo real para mitigar los IF, tala ilegal de árboles e indicios del cambio climático. El desarrollo de modelos o arquitecturas o marcos sobre sistemas avanzados que combinan IoT e IA generan soluciones efectivas para combatir esta clase de desafíos.

REFERENCIAS

- Adam, M., Hammoudeh, M., Alrawashdeh, R., & Alsulaimy, B. (2024). A Survey on Security, Privacy, Trust, and Architectural Challenges in IoT Systems. *IEEE Access*, 12(February), 57128–57149. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3382709>
- Angayarkkani, K., & Radhakrishnan, N. (2021). An effective technique to detect forest fire region through ANFIS with spatial data. *ICECT 2011 - 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology*, 3, 24–30. <https://doi.org/10.1109/ICECTECH.2011.5941794>
- BCBG. (2024). *Benemérito Cuerpo de Bomberos de Guayaquil*. <https://www.bomberosguayaquil.gob.ec/>
- Borah, A. R., Ravi, N., Narayan, N., & D'Souza, P. J. (2024). A Methodology for Forest Fire Detection and Notification Using AI and IoT Approaches. *2nd International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things, IDCIoT 2024*, 168–173. <https://doi.org/10.1109/IDCIoT59759.2024.10467597>
- Gaikwad, A., Bhuta, N., Jadhav, T., Jangale, P., & Shinde, S. (2022). A Review On Forest Fire Prediction Techniques. *2022 6th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation, ICCUBEA 2022*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA54992.2022.10010889>
- Gupta, B., Rana, S., Goyal, S. K., Gujral, R. K., & Aledaily, A. N. (2023). Forest Fire Detection by using MESA2DA Clustering Protocol based on Artificial Intelligence Techniques. *International Conference on Smart Computing and Application, ICSCA 2023*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSCA57840.2023.10087479>
- Hristov, G., Raychev, J., & Zahariev, P. (2019). Application of Artificial Intelligence in UAV platforms for Early Forest Fire Detection. *27th National Conference with International Participation: The Ways to Connect the Future, TELECOM 2019 - Proceedings*, 50–53. <https://doi.org/10.1109/TELECOM48729.2019.8994888>
- Ishitha, S., Nagaraju, S., Mohan, H. A., Harshitha, M., Gowda, G. R., & Jeevan, N. (2021). IoT based Anti-poaching and Fire Alarm System for Forest. *2021 IEEE Mysore Sub Section International Conference, MysuruCon 2021*, 711–715.

<https://doi.org/10.1109/MysuruCon52639.2021.9641539>

- Karthi, M., Priscilla, R., Subhashini, G., Infantia, C. N., Abijith, G. R., & Vinisha, J. (2023). Forest Fire Detection: A Comparative Analysis of Deep Learning Algorithms. *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Discovery in Concurrent Engineering, ICECONF 2023*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICECONF57129.2023.10084329>
- Kinaneva, D., Hristov, G., Raychev, J., & Zahariev, P. (2019). Early forest fire detection using drones and artificial intelligence. *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2019 - Proceedings*, 1060–1065. <https://doi.org/10.23919/MIPRO.2019.8756696>
- Krishnaveni, A., Harsha, H. M., Reddy, J. V., Praveen, K., & Mulumudi, A. R. (2023). IoT and AI based Forest Fire Prediction and Animal Monitoring System. *2023 9th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems, ICACCS 2023*, 1, 1590–1594. <https://doi.org/10.1109/ICACCS57279.2023.10112804>
- Kumar, M. A., Ashokkumar, C., Niranjana, R., Saravanan, K., Sundararajan, S., & Narayanan, K. L. (2023). EcoGuard: Uniting IoT and AI to Secure Forests and Combat Climate Change in Real-Time. *Proceedings of the 4th International Conference on Smart Electronics and Communication, ICOSEC 2023*, 480–487. <https://doi.org/10.1109/ICOSEC58147.2023.10276080>
- Li, M., Zhang, Y., Xin, J., Mu, L., Yu, Z., Liu, H., Xie, G., Jiao, S., & Yi, Y. (2021). Early Forest Fire Segmentation Based on Deep Learning. *2021 CAA Symposium on Fault Detection, Supervision, and Safety for Technical Processes, SAFEPROCESS 2021*, 6237–6241. <https://doi.org/10.1109/SAFEPROCESS52771.2021.9693660>
- Mekala, R., Srinath, S., Gokul, S., Balavigneshwar, E., & Muralidharan, R. (2023). Forest Fire Probability Prediction based on Humidity and Temperature. *Proceedings of the 2023 2nd International Conference on Electronics and Renewable Systems, ICEARS 2023*. <https://doi.org/10.1109/ICEARS56392.2023.10085661>
- Mohanty, M. (2024). Forest fire identification : Harnessing Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence. *2024 1st International Conference on Cognitive, Green and Ubiquitous Computing (IC-CGU)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IC->

CGU58078.2024.10530799

- Murugesan, M., Arun Kumar, K., Karthikeyan, V. V., Sivaranjani, S., Nirvin Chandar, R., & Kishore, P. (2024). IoT Based Forest Fire Detection Using Deep Learning Techniques- A Survey. *Proceedings - 2024 5th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks, ICICV 2024, Icicv*, 654–660. <https://doi.org/10.1109/ICICV62344.2024.00109>
- Nguyen-Anh, T., & Le-Trung, Q. (2020). Prediction of Forest Fire Risk to Trigger IoTs Reconfiguration Action. *Proceedings - 2020 7th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science, NICS 2020*, 19–24. <https://doi.org/10.1109/NICS51282.2020.9335854>
- Pandey, S., Singh, R., Kathuria, S., Negi, P., Chhabra, G., & Joshi, K. (2023). Emerging Technologies for Prevention and Monitoring of Forest Fire. *International Conference on Innovative Data Communication Technologies and Application, ICIDCA 2023 - Proceedings*, 1115–1121. <https://doi.org/10.1109/ICIDCA56705.2023.10099572>
- Pawar, S., Pandit, K., Prabhu, R., Samaga, R., & Geethalaxmi. (2022). A Machine Learning Approach to Forest Fire Prediction Through Environment Parameters. *International Conference on Artificial Intelligence and Data Engineering, AIDE 2022*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/AIDE57180.2022.10059873>
- Pettorru, G., Fadda, M., Girau, R., Sole, M., Anedda, M., & Giusto, D. (2023). Using Artificial Intelligence and IoT Solution for Forest Fire Prevention. *2023 International Conference on Computing, Networking and Communications, ICNC 2023*, 414–418. <https://doi.org/10.1109/ICNC57223.2023.10074289>
- Phillips, M., Reed, J. B., Zwicky, D., Van Epps, A. S., Buhler, A. G., Rowley, E. M., Zhang, Q., Cox, J. M., & Zakharov, W. (2024). Systematic Reviews in the Engineering Literature: A Scoping Review. *IEEE Access*, 12(May), 62648–62663. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3394755>
- Purcell, R., Naik, K., Lung, C. H., Zaman, M., Sampalli, S., & Mutakabbir, A. (2023). A Framework Using Federated Learning for IoT-Based Forest Fire Prediction. *Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence Systems, IoTaIS 2023*, 133–139. <https://doi.org/10.1109/IoTaIS60147.2023.10346044>

- Sakr, G. E., Elhajj, I. H., Mitri, G., & Wejinya, U. C. (2020). Artificial intelligence for forest fire prediction. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, 1311–1316. <https://doi.org/10.1109/AIM.2010.5695809>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2024). *SitRep No.02 - Incendios Forestales 2024* (Issue 02). <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/SITREP-Nro-02-Incendios-Forestales-01012024-al-31012024-1.pdf>
- Selvi, S., Thilagavathy, A., Lalitha, R., & Ramesh, T. (2023). Forest Fire Detection using Multispectral Landsat-8 Images and Convolution Neural Network. *2023 IEEE International Conference on Research Methodologies in Knowledge Management, Artificial Intelligence and Telecommunication Engineering, RMKMATE 2023*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/RMKMATE59243.2023.10368672>
- Suklabaidya, S., & Das, I. (2023). Processing IoT Sensor Fire Dataset Using Machine Learning Techniques. *Proceedings of 2023 International Conference on Intelligent Systems, Advanced Computing and Communication, ISACC 2023*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ISACC56298.2023.10084317>
- Sun, X., Li, N., Chen, D., Chen, G., Sun, C., Shi, M., Gao, X., Wang, K., & Hezam, I. M. (2024). A Forest Fire Prediction Model Based on Cellular Automata and Machine Learning. *IEEE Access*, April, 55389–55403. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3389035>
- Varun, M., Kesavraj, K., Suman, S., & Raj, X. S. (2023). Integrating IoT and Machine Learning for Enhanced Forest Fire Detection and Temperature Monitoring. *3rd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications, ICIMIA 2023 - Proceedings, Icimia*, 152–158. <https://doi.org/10.1109/ICIMIA60377.2023.10426108>
- Venkataramanan, V., Kavitha, G., Joel, M. R., & Lenin, J. (2023). Forest Fire Detection and Temperature Monitoring Alert using IoT and Machine Learning Algorithm. *Proceedings - 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology, ICSSIT 2023, Icssit*, 1150–1156. <https://doi.org/10.1109/ICSSIT55814.2023.10061086>
- Xie, F., & Huang, Z. (2023). Aerial Forest Fire Detection based on Transfer Learning and Improved Faster RCNN. *Proceedings of 2023 IEEE 3rd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence, ICIBA 2023*, 3(Iciba), 1132–

1136. <https://doi.org/10.1109/ICIBA56860.2023.10165603>

Yokotani, A., Mineno, H., Kosaka, K., Mitsuuchi, M., Ishibashi, K., & Yokotani, T. (2023). Low-Latency Processing of IoT Information in the IoT Platform Named “C-NAT.” *IEICE Communications Express*, 12(12), 620–623. <https://doi.org/10.23919/comex.2023COL0017>