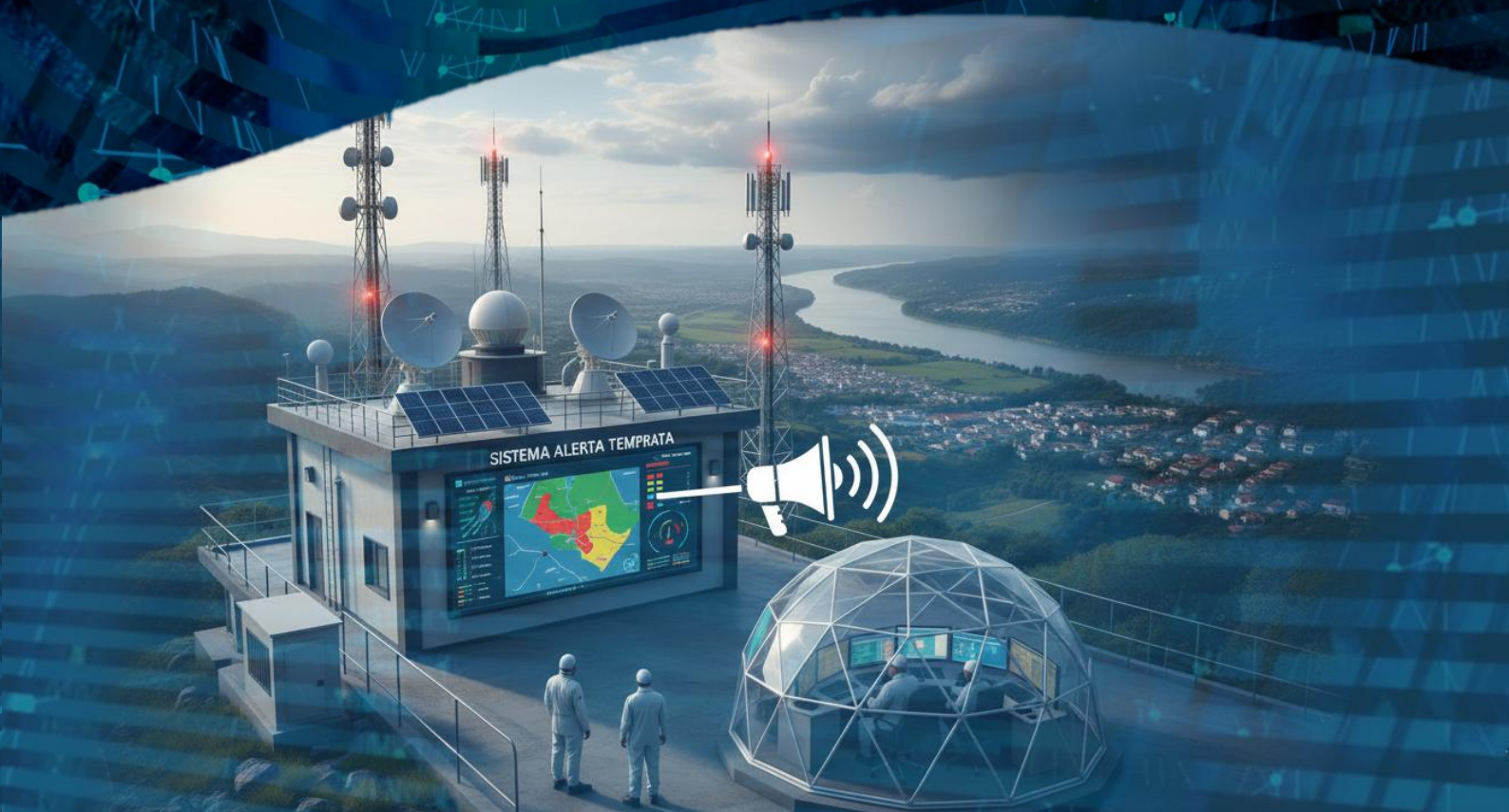




Boletín de VIGILANCIA TECNOLÓGICA



SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA



CRÉDITOS

BOLETÍN DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA

Presidente del Concytec:

Sixto Enrique Sánchez Calderón

Directora de Investigación y Estudios - DIE

Leda Yamilée Hurtado Roca

Elaborado por:

Francis Josimar García Portugal

María Del Águila Gracey - Filiación: Instituto Tecnológico de la Producción - ITP

Erika Paola Espinoza Rado - Filiación: DPP-CONCYTEC

Editado por:

© Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Concytec)

Av. del Aire 485, San Borja - Lima - Perú

Teléfono: (51-1) 399-0030

www.concytec.gob.pe

Edición Digital

Diciembre 2025

Estudio electrónico disponible en <https://octi.concytec.gob.pe/index.php/boletin>



OBJETIVO: *Proporcionar información sobre los últimos adelantos científicos y tecnológicos mundiales, así como sobre los productos y servicios más innovadores que ingresan al mercado internacional.*



1. Introducción



La intensificación de los desastres asociados al clima y a amenazas naturales ha convertido a los sistemas de alerta temprana (SAT) en un elemento crítico de la agenda global de reducción del riesgo de desastres. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (WMO), entre 1970 y 2021 los eventos extremos de origen hidrometeorológico causaron cerca de 12 000 desastres, más de 2 millones de muertes y pérdidas económicas superiores a 4,3 billones de dólares, afectando de manera desproporcionada a los países en desarrollo¹. En este contexto, el cambio climático está aumentando la frecuencia e intensidad de fenómenos como inundaciones, sequías, ciclones y olas de calor, lo que incrementa la exposición y vulnerabilidad de la población y exige capacidades tecnológicas de anticipación cada vez más robustas².

Los sistemas de alerta temprana se definen hoy como procesos integrados que abarcan el monitoreo de amenazas, el pronóstico y la predicción, la evaluación de riesgos, la comunicación de alertas y la preparación para la respuesta, con el propósito de proporcionar información oportuna y útil a la población y a las instituciones responsables, de modo que puedan adoptar medidas preventivas eficaces³. La evidencia internacional muestra que los países con sistemas multiamenaza (Multi-Hazard Early Warning Systems, MHEWS) más completos registran tasas de mortalidad por desastres casi seis veces menores y una proporción significativamente más baja de población afectada que aquellos con coberturas incipientes⁴.

Este rol estratégico de los SAT ha sido reconocido en marcos globales como el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, que incluye como una de sus metas “incrementar sustancialmente la disponibilidad de y el acceso a sistemas de alerta temprana multiamenaza y a información sobre riesgo de desastres” para las personas al año 2030⁵. En 2022, el Secretario General de las Naciones Unidas lanzó la iniciativa “Early Warnings for All” (EW4All), que plantea como objetivo que todas las personas en el planeta estén protegidas por un sistema de alerta temprana para 2027⁶. Según el informe global más reciente sobre MHEWS, a marzo de 2024 unos 108 países –alrededor del 55 % del total– reportan capacidades en

¹ <https://www.meteorologicaltechnologyinternational.com/news/extreme-weather/cost-of-weather-related-disasters-soars-but-early-warnings-save-lives.html>

² <https://wmo.int/media/news/climate-change-indicators-reached-record-levels-2023-wmo>

³ <https://therisk.global/guide/early-warning-systems-ews/?srsltid=AfmBOoo8zIU6TxRpZ3KCpnHBMKHihntngmWqoQIM0A-cLdMTjiMDv53jg>

⁴ <https://wmo.int/publication-series/global-status-of-multi-hazard-early-warning-systems-2024>

⁵ <https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030>

⁶ <https://earlywarningsforall.org/site/early-warnings-all>



sistemas multiamenaza, más del doble de los que lo hacían en 2015; sin embargo, persisten brechas notables en países menos adelantados y pequeños Estados insulares⁷.

Paralelamente, en la última década se ha producido una rápida evolución de las tecnologías que soportan los sistemas de alerta temprana. Los SAT han pasado de infraestructuras basadas principalmente en estaciones meteorológicas convencionales y medios de comunicación masivos, a arquitecturas complejas que integran observaciones satelitales, radares meteorológicos, redes de sensores in situ, plataformas de datos geoespaciales y canales de comunicación digitales. Revisiones recientes destacan la creciente integración de teledetección desde satélites y aeronaves con sensores terrestres, lo que permite el monitoreo en tiempo casi real de incendios forestales, deslizamientos, actividad volcánica y crecidas súbitas⁸. Además, el Internet de las Cosas (IoT) y los sensores de bajo costo han facilitado redes densas y distribuidas en territorios vulnerables, mientras que los datos generados por la ciudadanía (redes sociales, aplicaciones móviles, reportes comunitarios) complementan la información técnica, mejorando la conciencia situacional y los tiempos de respuesta⁹.

5

En este escenario, la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático están emergiendo como tecnologías clave para aumentar la capacidad predictiva y la eficiencia de los SAT. Estudios recientes muestran cómo la IA se utiliza para analizar datos masivos de observaciones meteorológicas y geoespaciales, mejorar la predicción de impactos y optimizar la emisión de alertas multiamenaza, integrando modelos de pronóstico, información de sensores remotos y atributos socioeconómicos de comunidades vulnerables¹⁰. La combinación de teledetección, IA y plataformas de decisión promete extender los tiempos de anticipación, reducir la incertidumbre y personalizar las alertas según el riesgo específico de cada territorio¹¹.

No obstante, estos avances, persisten desafíos importantes relacionados con asimetrías en el acceso a la tecnología, fragmentación de datos, falta de interoperabilidad entre sistemas, debilidades en la gobernanza de la información y la necesidad de enfoques centrados en las personas, que

⁷ <https://www.undrr.org/reports/global-status-MHEWS-2024>

⁸ <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/6/3218>

⁹ <https://ideas.repec.org/a/dbk/rlatia/v3y2025ip77id1062486latia202577.html>

¹⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004225019509>

¹¹ <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/19/5965>



garanticen que las alertas sean comprensibles, confiables y accionables para los distintos grupos sociales¹². En especial, los países de ingresos bajos y medios enfrentan limitaciones financieras y de capacidades para desplegar tecnologías avanzadas y sostener su operación en el tiempo, a pesar de concentrar una proporción elevada de la mortalidad por desastres¹³.

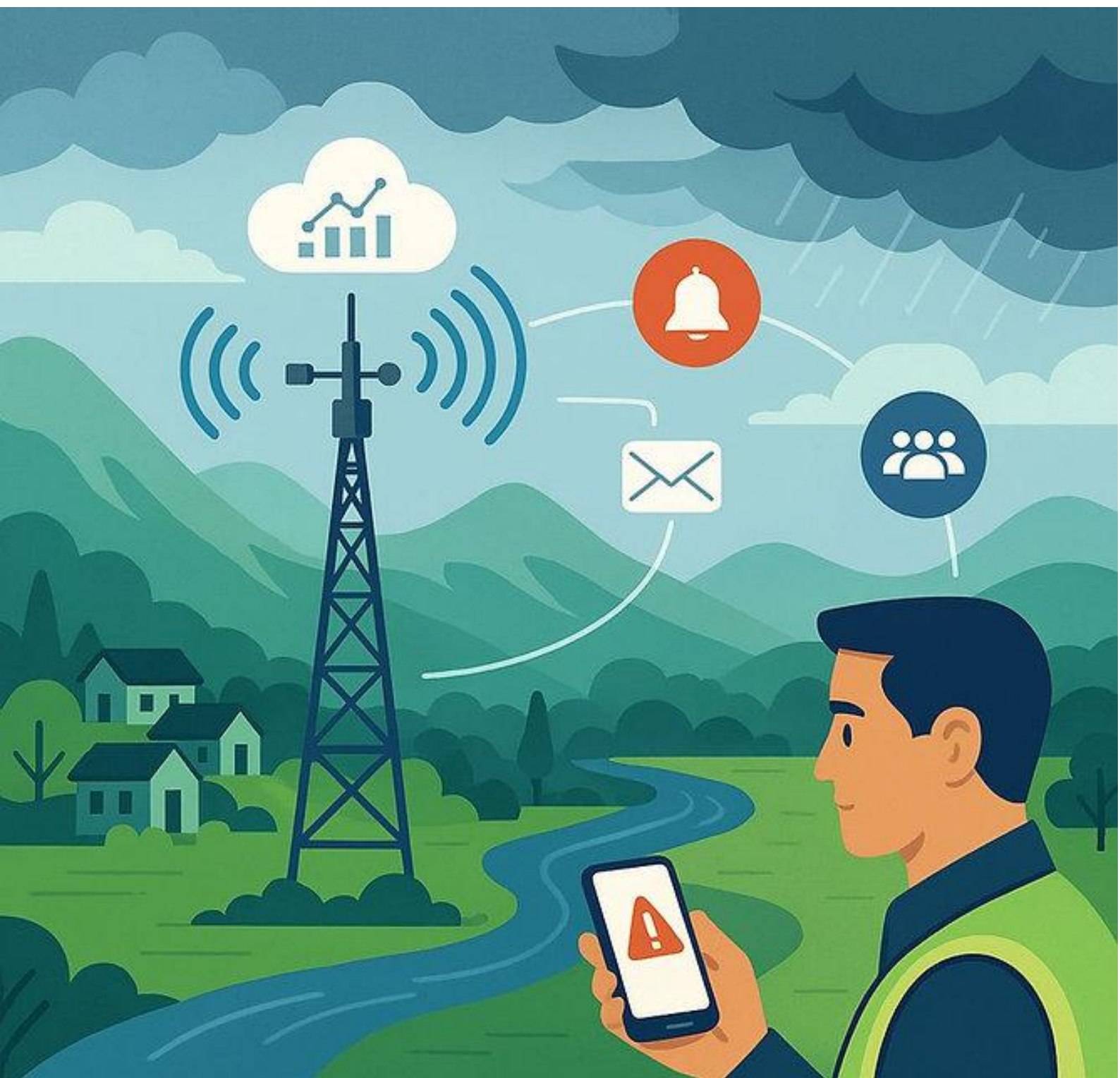
Ante este contexto, la vigilancia tecnológica en “Tecnologías en sistemas de alerta temprana” se vuelve una herramienta indispensable para orientar decisiones de política pública, inversión y desarrollo científico-tecnológico. Este informe tiene por objetivo identificar, analizar y sistematizar las principales tendencias tecnológicas que configuran la nueva generación de SAT, abarcando: i) infraestructuras de observación y sensado (teledetección, radares, redes IoT y sensores de bajo costo); ii) plataformas de procesamiento, modelado y analítica avanzada (big data, IA, gemelos digitales, servicios climáticos); iii) tecnologías y canales de comunicación de alertas (redes celulares, mensajería masiva, sirenas inteligentes, sistemas de radiodifusión y soluciones basadas en comunidad); y iv) desarrollos específicos para contextos de alta vulnerabilidad y bajos recursos. Sobre esta base, se busca ofrecer insumos estratégicos para la toma de decisiones sobre adopción, adaptación y desarrollo local de tecnologías de alerta temprana, contribuyendo al cumplimiento de los compromisos internacionales en materia de reducción del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.

¹² <https://wmo.int/publication-series/global-status-of-multi-hazard-early-warning-systems>

¹³ <https://wmo.int/media/news/economic-costs-of-weather-related-disasters-soars-early-warnings-save-lives>



2. Metodología





La presente vigilancia tecnológica se ha desarrollado como un proceso sistemático, continuo y estructurado, alineado con la Ley N.º 30806 y la Norma UNE 166006:2018 “Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia e inteligencia”. Bajo este marco, la vigilancia se entiende como un conjunto de actividades organizadas para identificar, recopilar, analizar y difundir información relevante sobre avances, tendencias y novedades tecnológicas en sistemas de alerta temprana, con el fin de apoyar la toma de decisiones informada y anticipar cambios en el entorno tecnológico y de negocio.

Proceso de vigilancia tecnológica

El proceso seguido se estructura en cuatro etapas principales:

2.1. Identificación de necesidades de información

En esta fase se definieron los objetivos específicos de la vigilancia y las preguntas clave a responder en torno a las “Tecnologías en sistemas de alerta temprana”. Se delimitaron los ámbitos de interés (sistemas, plataformas, modelos, algoritmos, herramientas tecnológicas y soluciones de pronóstico avanzado aplicadas a sistemas de alerta temprana) y los tipos de resultados buscados (patentes, artículos científicos, soluciones comerciales, informes de tendencias). Esta identificación permitió acotar el alcance temático y orientar la selección de palabras clave, códigos de clasificación y fuentes de información.

2.2. Búsqueda y tratamiento de la información

Con las necesidades de información definidas, se procedió a la búsqueda sistemática en bases de datos de patentes y no patentes. Se utilizaron como **palabras clave**:

- *Systems, Platform, Model, Algorithm, "Deep Learning", "Machine Learning", "technological tools", "Advanced forecasting models", Alert, Warning, early, timely, prevent, anticipate, "early warning", SAT.*
- Se combinaron estos términos con operadores booleanos y truncamientos, así como con términos relacionados con sistemas de alerta temprana y componentes tecnológicos.



Para refinar la búsqueda en el ámbito de patentes, se emplearon **códigos de clasificación IPC/CPC** relacionados con tecnologías de información, telecomunicaciones, sistemas de aviso y aplicaciones sectoriales, entre los que destacan:

- G08B (sistemas de señalización o de llamada; sistemas de alarma),
- G06F17/00 (procesamiento de datos o métodos de cálculo),
- G06N20/00 y G06N3/00 (sistemas de computación basados en modelos específicos, incluyendo redes neuronales y aprendizaje automático),
- G06Q10/00, G06Q30/00 y G06Q50/00 (sistemas o métodos de procesamiento de datos adaptados a sectores o fines específicos),
- G16H50/50 y G16H50/80 (aplicaciones TIC especializadas, especialmente en contextos de servicios o gestión).

La **información tecnológica y científica** se recopiló a partir de:

- **Bases de datos científicas:** Scopus, Springer, Elsevier, IEEE Xplore, ScienceDirect.
- **Bases de datos de patentes:** Lens.org, Espacenet, Patentscope (OMPI).
- **Informes de tendencias y análisis de mercado:** Statista, Startus Insights, OVTT (Observatorio Virtual de Transferencia de Tecnología).
- **Publicaciones comerciales:** páginas web oficiales de distribuidores y proveedores de soluciones tecnológicas en sistemas de alerta temprana.

Durante el tratamiento de la información se efectuó una primera depuración eliminando duplicados, documentos manifiestamente irrelevantes para sistemas de alerta temprana y resultados que no aportaban contenido tecnológico significativo. Posteriormente se clasificó la información por tipo de fuente (científica, patentaria, comercial, prospectiva) y por tipo de tecnología (sensores, plataformas de datos, algoritmos de IA, modelos de pronóstico, canales de comunicación de alertas, etc.).



Puesta en valor de la información

En esta etapa se realizó un análisis cualitativo de la información seleccionada, evaluando la pertinencia y aplicabilidad de las tecnologías identificadas en el contexto de los sistemas de alerta temprana. Para ello se consideraron, entre otros aspectos:

- el tipo de amenaza o riesgo al que se orienta la tecnología (hidrometeorológica, geofísica, sanitaria, multiamenaza);
- el grado de madurez tecnológica (desde desarrollos experimentales hasta productos comerciales consolidados);
- el potencial de integración en sistemas de alerta temprana existentes o en desarrollo;
- la relevancia para la mejora de la detección, el pronóstico, la anticipación, la comunicación o la respuesta temprana.

El resultado de esta puesta en valor es la identificación de tendencias tecnológicas, familias de soluciones emergentes, actores clave (empresas, centros de investigación, organismos internacionales) y posibles oportunidades de adopción, adaptación o desarrollo tecnológico propio.

10

2.3. Distribución y almacenamiento de resultados

Finalmente, la información analizada se integró en el presente informe de vigilancia tecnológica. De acuerdo con el enfoque de la Norma UNE 166006:2018, los resultados se estructuraron de forma que sean comprensibles y útiles para la toma de decisiones estratégicas. La información generada se ha considerado de libre disposición, por lo que puede ser reutilizada y difundida para fines de planificación tecnológica, formulación de proyectos de I+D+i y diseño de políticas relacionadas con sistemas de alerta temprana. Asimismo, se prevé su almacenamiento en repositorios institucionales que faciliten futuras actualizaciones de la vigilancia y la trazabilidad del proceso.

En conjunto, esta metodología asegura que la vigilancia tecnológica sobre “Tecnologías en sistemas de alerta temprana” sea un proceso reproducible, alineado con estándares internacionales y orientado a generar información



estratégica para anticipar cambios tecnológicos y apoyar decisiones informadas.



3. Objetivos



3.1. Objetivo general

Identificar, analizar y sistematizar las principales tendencias, desarrollos y tecnologías emergentes relacionadas con los sistemas de alerta temprana, a fin de generar información estratégica que apoye la toma de decisiones en materia de I+D+i, inversión y políticas vinculadas a la gestión del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el estado del arte de las tecnologías aplicadas a sistemas de alerta temprana, considerando infraestructuras de observación y sensado, modelos de pronóstico, plataformas de datos, algoritmos de inteligencia artificial y canales de comunicación de alertas.
- Identificar y analizar las tecnologías emergentes y las principales tendencias tecnológicas en sistemas de alerta temprana a nivel internacional, con especial énfasis en soluciones multiamenaza, modelos de pronóstico avanzado y herramientas basadas en aprendizaje automático y análisis de datos.
- Examinar la información contenida en bases de datos científicas y de patentes para reconocer líneas de investigación, familias tecnológicas, actores relevantes (empresas, centros de investigación, organismos internacionales) y posibles nichos de oportunidad para el desarrollo o adopción tecnológica.
- Evaluar la pertinencia y aplicabilidad de las tecnologías identificadas en el contexto de sistemas de alerta temprana, considerando su grado de madurez tecnológica, los requisitos de infraestructura, las capacidades institucionales y las necesidades de los territorios y poblaciones vulnerables.
- Proporcionar insumos para la planificación estratégica y la formulación de proyectos de I+D+i, ofreciendo recomendaciones orientadas a la adopción, adaptación o desarrollo local de tecnologías de alerta temprana, en coherencia con la Ley N.º 30806 y la Norma UNE 166006:2018.



4. Análisis





4.1. Análisis de publicaciones científicas

La producción científica sobre Sistemas de Alerta Temprana (SAT) refleja un campo de investigación activo y en rápida madurez. Esta actividad es impulsada principalmente por el ámbito académico a nivel global se caracteriza por la innovación algorítmica, incluyendo el desarrollo de modelos de inteligencia artificial (IA), para mejorar la precisión y la anticipación de las alertas. La aplicación de estos SAT es notablemente diversa y global, centrándose en problemas críticos de resiliencia y salud pública, con estudios de caso que van desde la predicción de fallas electromecánicas en plataformas oceánicas (China) hasta la gestión de sequías agrometeorológicas (Pakistán, Sudáfrica) y la vigilancia escalable del dengue en países de ingresos bajos y medianos (Brasil, Vietnam, Malasia).

Tabla 1. Consolidado de principales publicaciones científicas

14

N°	Revista	Título original	Título	Resumen	Autor
1	Mechanical Systems and Signal Processing Volume 238, 1 September 2025, 113282	T-BGA-CA: A Multi-Level Attention-Based BiGRU model for early fault warning in unmanned ocean platform electromechanical systems	T-BGA-CA: Un modelo BiGRU basado en la atención multinivel para la alerta temprana de fallos en sistemas electromecánicos de plataformas oceánicas no tripuladas	Las grandes plataformas oceánicas no tripuladas tienen amplias aplicaciones en reconocimiento militar, rescate marítimo y exploración de recursos. El sistema electromecánico, como componente central de estas plataformas, enfrenta numerosos desafíos debido a las duras condiciones del mar, las limitaciones espaciales y la multiplicidad de puntos de monitoreo. Estos desafíos incluyen fallas frecuentes de componentes, el complejo acoplamiento de datos de múltiples fuentes, rutas de propagación de fallas impredecibles y dificultades en el monitoreo y localización de fallas en tiempo real. Por consiguiente, los algoritmos de análisis de confiabilidad para estos sistemas se han convertido en un foco de investigación crucial. Este estudio investiga una plataforma oceánica no tripulada de 15 toneladas compuesta por dos motores diésel, dos motores eléctricos, equipos de transmisión y sistemas auxiliares. La investigación	Chen Y, Lu Y, Jiang X



desarrolla algoritmos de alerta temprana utilizando datos reales de 30 puntos de monitoreo clave implementados por el sistema de monitoreo de la plataforma. 1) Se propone un novedoso modelo inteligente de predicción de fallas denominado Transformer-BiGRU Global Attention-Cross Attention (T-BGA-CA), que combina errores de predicción con suavizado convolucional de Savitzky-Golay y métodos de umbral dinámico para construir indicadores de salud para la plataforma oceánica no tripulada. 2) Para verificar la efectividad del nuevo método, se utilizan datos operativos reales de 30 puntos de monitoreo que cubren el motor principal, el motor eléctrico y el equipo auxiliar. Se emplea el método del coeficiente de correlación de Pearson agrupado para filtrar parámetros de múltiples fuentes, y el análisis de componentes principales (PCA) se combina con el algoritmo para lograr la fusión de múltiples características. Luego, los parámetros de PCA se utilizan para entrenar y predecir el modelo de alerta temprana, logrando con éxito alertas tempranas efectivas para fallas de fuga del equipo principal con 136 s de anticipación; 3) T-BGA-CA se compara con algoritmos tradicionales, por ejemplo, LSTM, GRU, BiLSTM, BiGRU, Transformer y algoritmos de fusión. Los resultados muestran que T-BGA-CA proporciona las alertas de falla más tempranas (20-25 puntos de muestreo por delante de los algoritmos tradicionales). Logra la tasa de falsas alarmas más baja y el umbral de alerta óptimo. En cuanto a las métricas básicas del algoritmo, la métrica MAE del modelo T-BGA-CA disminuyó un 57,1 % y la métrica MedAE un 56,3 % en comparación con los algoritmos de alerta tradicionales subóptimos. El algoritmo propuesto también reduce el tiempo de ejecución, a la vez que garantiza la precisión en comparación con los algoritmos de fusión. Se espera que el nuevo algoritmo proporcione soporte algorítmico para la predicción del estado y la alerta temprana de los



				sistemas electromecánicos de plataformas no tripuladas.	
2	Engineering Applications of Artificial Intelligence Volume 164, Part B, 15 January 2026, 113348	Automated novel real-time framework for rainfall data imputation in flood early warning systems	Nuevo marco automatizado en tiempo real para la imputación de datos de precipitaciones en sistemas de alerta temprana de inundaciones	Los sistemas de alerta de inundaciones en tiempo real desempeñan un papel crucial en la mitigación de los impactos de las inundaciones. Sin embargo, su rendimiento depende en gran medida de los datos de entrada, que a menudo pueden contener valores faltantes. Si bien las técnicas de imputación de datos se han aplicado ampliamente en las etapas de preprocesamiento, su integración en operaciones en tiempo real aún no se ha explorado lo suficiente. Este estudio presenta un sistema automatizado de soporte de decisiones en tiempo real que integra un modelo de conjunto de minería de datos apilados con votación suave que comprende árbol de decisión, K-vecino más cercano, Naive Bayes, red neuronal, máquina de vectores de soporte, análisis discriminante y regresión gaussiana. El sistema también incorpora identificación de eventos hidrológicos e hidráulicos, evaluación comparativa externa y un marco de imputación espacial ponderada por difusos de múltiples datos. La eficacia del método propuesto se evaluó mediante un estudio de caso real que involucra un sistema de alerta temprana de inundaciones en una red de drenaje urbano en Londres, Reino Unido. Se realizaron análisis comparativos con un modelo de inteligencia artificial consolidado y un análisis de sensibilidad para una evaluación más exhaustiva. Los resultados mostraron que todos los tipos de datos faltantes se identificaron correctamente con una precisión superior al 90 % y se imputaron con precisión, especialmente en situaciones en las que otros modelos no reconocieron los valores de precipitación actuales durante el inicio, el pico y la fase descendente de los eventos (sin reducir la precisión en comparación con los modelos de referencia de mejor rendimiento). Para la predicción de inundaciones con 3 h de antelación, el método propuesto redujo el error cuadrático medio normalizado hasta en un 30 % en comparación	Piadeh F, Bakhtiari V, Piadeh F



				con enfoques alternativos. Para garantizar la generalización del enfoque, se utilizaron ubicaciones adicionales en todo el Reino Unido para la validación, lo que demuestra la estabilidad y robustez del sistema, con solo pequeñas variaciones de error.	
3	Infectious Disease Modelling Volume 11, Issue 1, March 2026, Pages 107-120	A framework using large time series model for early warning of infectious diseases	Un marco que utiliza un modelo de series temporales grandes para la alerta temprana de enfermedades infecciosas	<p>Un sistema de control de enfermedades infecciosas es indispensable para mitigar los daños a la vida y la seguridad de las propiedades de las personas causados por estas. Un sistema eficaz de control de enfermedades infecciosas debe incorporar un mecanismo de alerta temprana diseñado para detectar tendencias anormales de aumento (brotes) en series espacio-temporales. Sin embargo, los métodos existentes de detección de anomalías a menudo se ven limitados por la calidad y la cantidad de datos disponibles en escenarios de aplicación específicos, en particular en escenarios de alerta temprana de enfermedades infecciosas. La aparición de modelos generativos de series temporales grandes preentrenados (en adelante, modelos de series temporales grandes) puede proporcionar una solución a este desafío. Con base en estos modelos, proponemos un marco eficaz de alerta temprana.</p> <p>Comparamos el marco con métodos estadísticos y de aprendizaje profundo en conjuntos de datos de enfermedades infecciosas del mundo real y conjuntos de datos derivados relacionados. Nuestro marco tiene un mejor rendimiento y requiere menos datos.</p> <p>Proponemos un marco de alerta temprana fácilmente implementable, caracterizado por una fuerte capacidad de generalización y un rendimiento excepcional, que ilustraría a los investigadores de modelos epidémicos.</p>	Liu Y, Wang X, [...] Wang Q
4	International Journal of Disaster Risk Reduction	Hybrid methodology for flood early warning indicators: Combining hydrodynamic	Metodología híbrida para indicadores de alerta temprana de inundaciones: Combinando modelación	Este artículo presenta una metodología híbrida para la definición y validación de indicadores y umbrales de inundaciones repentinas, combinando la modelación	Cardona Gómez N, Zambrano Nájera J, [...] Yara Amaya F



	Volume 131, December 2025, 105895	modeling and community participation in Manizales, Colombia	hidrodinámica y participación comunitaria en Manizales, Colombia	hidrodinámica con la participación comunitaria. El enfoque propuesto se desarrolló en el marco de la implementación de Sistemas Comunitarios de Alerta Temprana en los barrios Lusitania y Providencia (zonas propensas a inundaciones) ubicados en Manizales, Colombia. Desde la perspectiva técnica, se construyó un modelo hidráulico en IBER, se calibró y validó utilizando registros históricos y mediciones de campo. Luego, se realizaron múltiples simulaciones bajo diferentes condiciones de contorno para determinar los niveles de agua asociados con los caudales de inundación. Además, se aplicaron métodos hidrológicos empíricos reportados en la literatura para estimar los niveles de desbordamiento y las descargas con base en parámetros morfológicos locales. Desde la perspectiva comunitaria, se realizaron talleres participativos para identificar las secciones críticas del río y los niveles de desbordamiento correspondientes. Los resultados muestran que los niveles definidos por la comunidad se alinearon estrechamente con los valores modelados en Lusitania. Sin embargo, en Providencia, el enfoque hidrológico resultó más preciso. Estos hallazgos sugieren que un enfoque híbrido -que integra el análisis técnico y el conocimiento local- puede mejorar significativamente la precisión y confiabilidad de los umbrales e indicadores utilizados en los sistemas de alerta temprana de inundaciones, mejorando así su sostenibilidad a largo plazo.	
5	Climate Services Volume 40, December 2025, 100622	Agrometeorological drought early warning as a climate service: SPI projections using SARIMA models for seasonal risk management	Alerta temprana de sequía agrometeorológica como servicio climático: Proyecciones SPI utilizando modelos SARIMA para la gestión del riesgo estacional	Los fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías frecuentes, representan una amenaza significativa para la agricultura y los medios de vida en países como Pakistán, donde la agricultura, que emplea al 62 % de la fuerza laboral, depende en gran medida de las precipitaciones. En el estudio actual, se ha desarrollado un servicio climático para generar alertas tempranas de sequía agrometeorológica mediante la aplicación de modelos de Promedio Móvil Integrado Autorregresivo	Ashraf M, Arshad A, [...] Bilal R



				<p>Estacional (SARIMA) para pronosticar el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) en intervalos de 6 y 12 meses. Este enfoque innovador tiene como objetivo mejorar la capacidad de anticipar las condiciones de sequía, facilitar una gestión agrícola más eficaz y la toma de decisiones en respuesta a la posible escasez de agua. Mediante el uso de datos mensuales de precipitación recopilados en 20 sitios entre 1991 y 2024, se realiza una evaluación integral de la ocurrencia histórica de sequías y las condiciones estacionales proyectadas para el período agrícola de 2025 a 2030 y a largo plazo de 2025 a 2050. Los modelos SARIMA de mejor ajuste demostraron una alta precisión (valores R_2 de validación: 0,86-0,94; valores RMSE: 0,31-0,49) en todas las estaciones meteorológicas. Entre 2010 y 2024, la región de Quetta experimentó 17 meses de sequía extrema ($SPI \leq -2,0$), lo que indica que las sequías severas fueron un fenómeno recurrente. Las proyecciones para 2025-2030 y 2025-2050, basadas en tendencias históricas, predicen condiciones prolongadas de sequía leve (SPI: -1,3 a -1,7) durante la temporada de Rabi en Punjab y Sindh. Se prevé que Baluchistán se enfrente a condiciones de aridez severa, con un SPI de -2,1 para 2028. El modelo SARIMA mostró una alta capacidad de pronóstico, con valores de eficiencia de Nash-Sutcliffe superiores a 0,81 en todas las estaciones, lo que ofrece información útil para la planificación del riego y la gestión de cultivos. Nuestra investigación permitirá a los responsables políticos pronosticar reducciones de rendimiento del 25 % al 35 % en zonas agrometeorológicas propensas a la sequía y priorizar la asignación de recursos. Esto proporciona una herramienta vital para la evaluación de riesgos estacionales y sirve como sistema de alerta temprana para ayudar a planificar prácticas de gestión climáticamente inteligentes, promover variedades de cultivos tolerantes a la sequía e implementar sistemas de riego de</p>	
--	--	--	--	--	--



				alta eficiencia, mejorando así la resiliencia de los sistemas agrícolas de secano.	
6	Acta Tropica Volume 269, September 2025, 107765	Bridging the predictive divide: A hybrid early warning system for scalable and real-time dengue surveillance in LMICs	Reducir la brecha predictiva: un sistema híbrido de alerta temprana para la vigilancia escalable y en tiempo real del dengue en países de ingresos bajos y medios	El resurgimiento global del dengue representa un desafío constante para los sistemas de salud pública, particularmente en países de ingresos bajos y medianos (PIBM), donde los sistemas convencionales de alerta temprana (SAT) suelen sufrir retrasos en los informes y una detección insuficiente. Si bien los SAT basados en IA ofrecen una precisión superior, su dependencia de flujos de datos densos e infraestructura avanzada limita su escalabilidad en contextos con recursos limitados. Este documento presenta una arquitectura híbrida de SAT que combina estratégicamente datos epidemiológicos retrospectivos con señales selectivas en tiempo real, como variables climáticas y tendencias digitales, dentro de un marco modular de aprendizaje automático. Basándonos en estudios de caso de Brasil, Malasia y Vietnam, demostramos cómo esta arquitectura se adapta a diversos entornos de datos: integrando datos de seroprevalencia para corregir la subnotificación, optimizando las alertas basadas en zonificación con señales de comportamiento y utilizando predictores climáticos para superar la fragmentación de los datos. Los resultados de la simulación indican que el modelo híbrido reduce el tiempo de respuesta ante brotes de 7 a 14 días (SAT tradicional) a 3-5 días y mejora la precisión de la predicción al 85-90 %. Estos hallazgos resaltan al EWS híbrido como una solución escalable y sensible al contexto que equilibra el desempeño predictivo con la viabilidad de la implementación, ofreciendo una vía viable para que los países de ingresos bajos y medios pongan en funcionamiento la vigilancia del dengue en tiempo real y el control proactivo de vectores.	Tuan D, Uyen P
7	iScience Volume 28, Issue 11, 21 November 2025, 113689	The role of artificial intelligence for early warning systems: Status, applicability, guardrails, and ways forward	El papel de la inteligencia artificial para los sistemas de alerta temprana: estado, aplicabilidad, barreras de seguridad y caminos a seguir	La inteligencia artificial (IA) está cobrando impulso en las ciencias de la tierra como herramienta para analizar riesgos naturales complejos y sus impactos. Estos análisis son cruciales para la eficacia de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT),	Tiggeloven T, Pfeiffer S, [...] Torresan S



				<p>cuyo objetivo es generar información oportuna y práctica sobre riesgos para proteger sectores, sistemas y personas. A pesar de los avances en IA, su papel en los SAT sigue sin explorarse en los cuatro pilares del marco de Alerta Temprana para Todos (SAT para Todos): conocimiento del riesgo, pronóstico, difusión y comunicación de alertas, y preparación para la respuesta. Este estudio se basa en una revisión sistemática de la literatura para evaluar los métodos de IA utilizados en el contexto de los SAT, examina sus desafíos y oportunidades, y analiza preguntas orientadoras para un uso responsable. Nuestro estudio destaca las principales lagunas en el conocimiento, la aplicación y las políticas. Además, instamos a coordinar esfuerzos para desarrollar marcos de IA responsables que mejoren los SAT, garantizando al mismo tiempo que sean inclusivos, accesibles y centrados en las personas, lo que, en última instancia, respalda el objetivo de SAT para Todos para 2027.</p>	
8	Environmental Development Volume 56, September 2025, 101253	The 2023/24 summer drought tracked by the Agricultural Drought Early Warning System (ADEWS) for South Africa	La sequía del verano 2023/24 monitoreada por el Sistema de Alerta Temprana de Sequía Agrícola (ADEWS) para Sudáfrica	<p>La producción comercial de granos en Sudáfrica es principalmente de secano y se concentra en zonas semiáridas de la región de lluvias estivales, donde la sequía es una de las principales causas de las bajas cosechas agrícolas, lo que a veces resulta en inseguridad alimentaria. Durante la temporada de crecimiento de verano 2023/24, se produjo una sequía repentina de alta intensidad y rápida aparición desde mediados de enero hasta finales de marzo, lo que provocó un aumento significativo en los precios de los granos debido a la menor producción de maíz blanco, el principal alimento básico en Sudáfrica. A pesar de durar solo dos meses y medio, los impactos agrícolas fueron significativos porque la sequía coincidió con el pico de la temporada de crecimiento del maíz, durante la formación de panojas y el llenado de los granos. Utilizando esta sequía como estudio de caso, evaluamos la capacidad de un Sistema Sudafricano de Alerta Temprana de Sequía Agrícola (ADEWS),</p>	Malherbe J, Moeletsi M, Roffe S.



				<p>disponible en https://www.drought.agric.za/, para comunicar las condiciones de sequía y los impactos en la productividad. Este ADEWS integra datos meteorológicos, pronósticos a corto y mediano plazo, datos de teledetección y resultados de simulación de cultivos y pastizales para proporcionar un monitoreo casi en tiempo real de los indicadores de sequía. La validación con los rendimientos observados del maíz mostró un sólido rendimiento, con correlaciones estadísticamente significativas entre los rendimientos observados del maíz y varios productos ADEWS, incluyendo el Índice de Condición de la Vegetación (VCI), el Índice de Satisfacción de las Necesidades Hídricas del maíz (WRSI), el Porcentaje de Verdor Estacional Promedio (PASG) y los rendimientos simulados del modelo DSSAT-CERES-Maize (Sistema de Apoyo a la Decisión para la Transferencia de Agrotecnología - Síntesis de Recursos del Entorno de Cultivos). A pesar de la duración limitada de la sequía, ADEWS capturó eficazmente su severidad, cronología e impactos en la producción. Por lo tanto, este estudio de caso refleja el valor de ADEWS para mantener informadas a las partes interesadas y apoyar la alerta temprana y la toma de decisiones para la preparación ante la sequía en los sistemas agrícolas de secano sudafricanos.</p>	
9	Climate 2023, Vol. 11, Page 188 (2023) 11(9) 188	A Systematic Review of Existing Early Warning Systems' Challenges and Opportunities in Cloud Computing Early Warning Systems	Una revisión sistemática de los desafíos y oportunidades de los sistemas de alerta temprana existentes en los sistemas de alerta temprana de computación en la nube	Este artículo evaluó los desafíos y oportunidades existentes de los sistemas de alerta temprana (SAT) en la computación en la nube mediante el marco PSALSAR para la revisión sistemática de la literatura y el metaanálisis. La investigación utilizó la literatura existente de Scopus y Web of Science, donde se extrajeron un total de 2516 piezas entre 2004 y 2022. Mediante criterios de inclusión y exclusión, el total se redujo a 98 para esta revisión sistemática. Esta revisión destaca los desafíos y las oportunidades en la transferencia de sistemas internos de alerta temprana (es decir, no basados en la nube) a la infraestructura de computación en	Agbehadji I, Mabhaudhi T, Masinde M



la nube. También se destacaron las diferentes técnicas o enfoques utilizados en los distintos tipos de SAT para facilitar el procesamiento y el análisis de datos relacionados con el clima. Los hallazgos indican que muy pocos SAT (por ejemplo, para inundaciones, sequías, etc.) utilizan la infraestructura de computación en la nube. Muchos SAT no aprovechan la capacidad de la computación en la nube, sino que utilizan sistemas de aplicaciones en línea que no están basados en la nube. En segundo lugar, algunos SAT han aprovechado las técnicas y herramientas computacionales disponibles en una única plataforma para el procesamiento de datos. En tercer lugar, los sistemas de alerta temprana (SAT) combinan más de un principio fundamental del marco de los SAT para proporcionar un sistema de alerta integral. Los hallazgos sugieren que alcanzar un uso global de los SAT relacionados con el clima podría ser difícil si no se rediseñan para que se adapten a la infraestructura de servicios de computación en la nube.

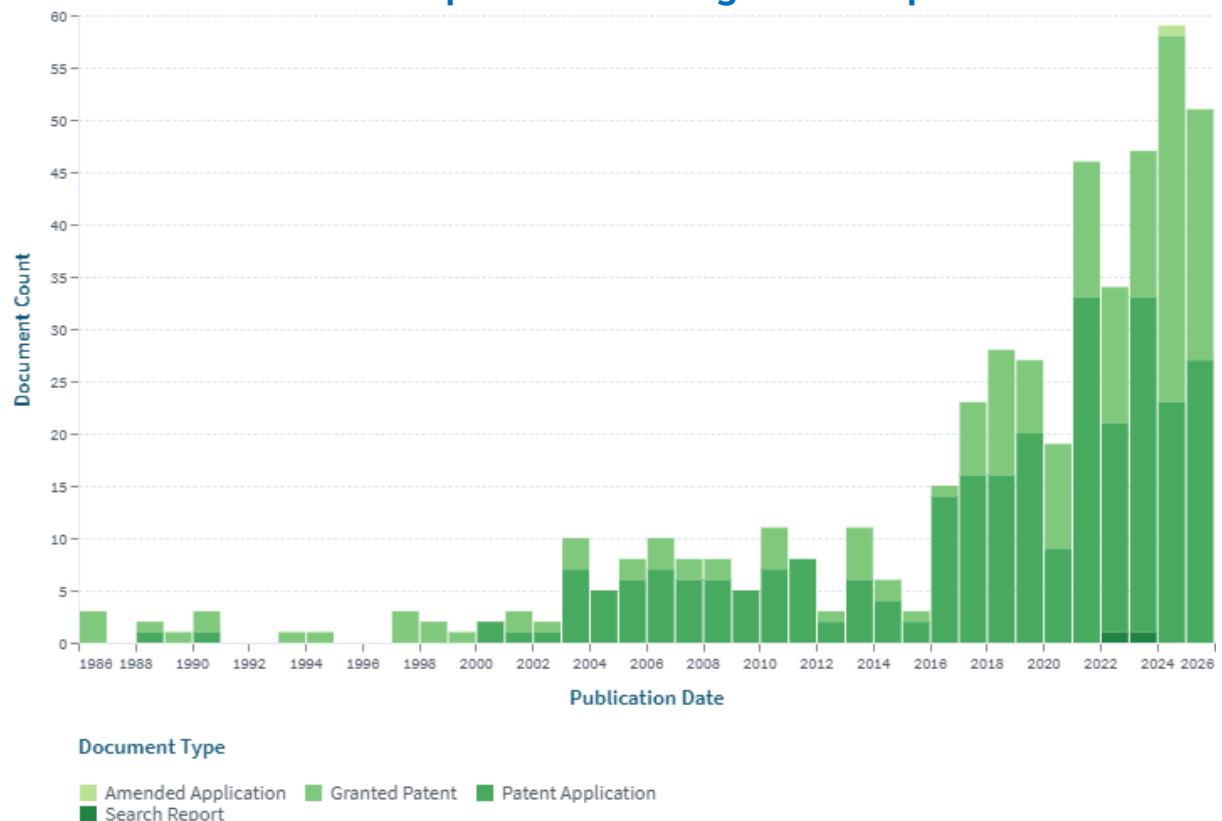
Nota: Elaboración propia

4.2. Análisis de las Innovaciones tecnológicas

El panorama de patentes sobre sistemas de alerta temprana impulsados por inteligencia artificial y Deep Learning muestra una intensa y reciente actividad innovadora. La tecnología se enfoca predominantemente en la mitigación y predicción de riesgos físicos y ambientales, cubriendo áreas críticas como desastres geológicos (deslizamientos, riesgos meteorológicos), prevención de incendios (forestales y estructurales) y alerta de inundaciones. Sin embargo, también se observa una importante diversificación hacia la salud predictiva y la gestión avanzada de riesgos en el contexto de One health, destacando la versatilidad de los algoritmos de aprendizaje automático para transformar la seguridad y la toma de decisiones en múltiples sectores.

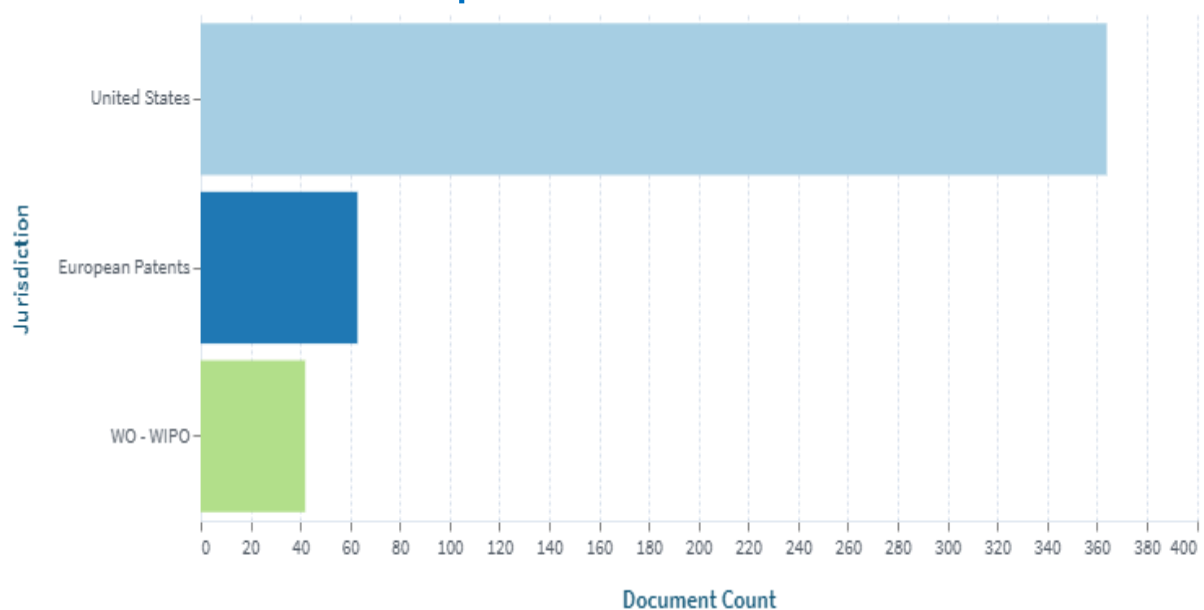


Gráfico 1. Documentos de patentes a lo largo del tiempo



Nota. Tomada de lens.org.














Gráfico 2: Países líderes en patentes



Nota. Tomada de lens.org.



Gráfico 3: Principales solicitantes

 Chengdu Qinchuan lot T... 18	 Compañía de energía hi... 16	 Banco de América 13	 Grupo de tecnología Bo... 10	 Nec Lab America INC 9
 Nec CORP 9	 Zte CORP 5	 Universidad del Noroeste 5	 Phillips José 5	 Compañía japonesa de ... 5
 Antonio Eric 5	 Carrier CORP 4	 Boeing CO 4	 Beijing Baidu Netcom S... 4	 AT&T Ip I LP 4

Nota. Tomada de lens.org.

Gráfico 4: Principales códigos de clasificación CPC

23 G01V1/01 Física Medición o predicción de terremotos	20 G06N20/00 Física aprendizaje automático	20 G06N3/08 Física Métodos de aprendizaje	33 G06T10/04 Física Previsión u optimización especialmente adaptada a fines administrativos o de gestión, p. ej., programación lineal o predicciones de .	18 G06Q10/0635 Física Análisis de riesgos de las actividades de la empresa u organización
19 G06Q30/0201 Física Modelado de mercado Análisis de mercado Recopilación de datos de mercado	17 G06Q50/26 Física Procesos empresariales gubernamentales o de servicios públicos relacionados con la industria del transporte	21 G06Q50/265 Física Seguridad personal, identidad o protección	23 G08B17/10 Física Actuación por presencia de humo o gases, p. ej. dispositivos de alarma automáticos para analizar materiales fluidos en .	45 G08B21/02 Física Alarmas para garantizar la seguridad de las personas
74 G08B21/10 Física Responde a eventos calamitosos, por ejemplo, tornados o terremotos.	32 G08B21/18 Física Las alarmas de estado G08B21/02 tienen prioridad	41 G08B21/182 Física Alarmas de nivel, por ejemplo, alarmas que responden a variables que superan un umbral	25 G08B25/10 Física utilizando sistemas de transmisión inalámbrica G08B25/009 tiene prioridad	83 G08B31/00 Física Sistemas de alarma predictivos caracterizados por la extrapolación u otros cálculos utilizando datos históricos actualizados



Nota. Tomada de lens.org.

Gráfico 5: Principales códigos de clasificación IPCR

20 A61B5/00 Necesidades humanas En este grupo, el término siguiente se utiliza con el significado indicado: "medir" abarca también detectar o registrar.	25 G01V1/00 Física Sismología Prospección o detección sísmica o acústica	11 G06F17/30 ⚠ Clasificación no disponible en la versión actual	13 G06N5/04 Física Modelos de inferencia o razonamiento	17 G06Q10/00 Física Gestión administrativa
15 G06Q30/00 Física Comercio	21 G06Q30/02 Física Estimación o determinación de precios de marketing Recaudación de fondos	11 G08B13/196 Física utilizando cámaras de televisión	21 G08B17/10 Física Accionamiento por presencia de humo o gases	41 G08B21/02 Física Alarmas para garantizar la seguridad de las personas
60 G08B21/10 Física Responde a eventos calamitosos, por ejemplo, tornados o terremotos.	44 G08B21/18 Física Las alarmas de estado tienen prioridad	20 G08B25/00 Física Sistemas de alarma en los que la ubicación de la condición de alarma se señala a una estación central, por ejemplo,	14 G08B27/00 Física Sistemas de alarma en los que la condición de alarma se señala desde una estación central a una pluralidad de subestaciones	29 G08B31/00 Física Sistemas de alarma predictivos caracterizados por la extrapolación u otros cálculos utilizando datos históricos actualizados

Nota. Tomada de lens.org.

Tabla 2. Consolidado de principales patentes

N.º	Número y fecha De publicación	Título Original	Título	Resumen	Solicitante
1	CN120748173A:2025-10-03	Geological disaster meteorological risk early warning method and system based on machine learning	Método y sistema de alerta temprana de riesgo meteorológico de desastres geológicos basado en aprendizaje automático	La invención se refiere al campo técnico del procesamiento de datos y describe un método y un sistema de alerta temprana de riesgos meteorológicos de desastres geológicos basado en el aprendizaje automático. El método comprende los siguientes pasos: adquirir la intensidad de las precipitaciones, la saturación del suelo, el cambio del nivel de las aguas subterráneas y el coeficiente de escorrentía de la pendiente mediante un sensor multisource, y construir un conjunto de datos meteorológicos sobre desastres geológicos; realizar una distribución de la ponderación de la sensibilidad de los factores meteorológicos en función de las condiciones geológicas para obtener una matriz de ponderación; llevar a cabo una fusión ponderada de la matriz de ponderación y los datos meteorológicos de series temporales, y extraer características a través de una red de memoria a corto y largo plazo con restricciones geológicas para obtener un vector de probabilidad de riesgo; ajustar dinámicamente un valor umbral de alerta	WUHAN ZHONGDI YUNSHEN TECH CO LTD



				temprana basado en la tasa de cambio del coeficiente de seguridad; y llevar a cabo una fusión bayesiana sobre el vector de probabilidad de riesgo y un umbral de alerta temprana adaptativo para obtener un resultado de alerta temprana graduado. Se resuelve el problema técnico de que la tecnología existente de alerta temprana de desastres geológicos carece de una distribución inteligente de pesos de factores meteorológicos multivariantes y de un mecanismo de ajuste de umbrales adaptativo a las condiciones geológicas.	
2	CN119600788A-2025-03-11	Fire risk dynamic assessment and early warning method fused with deep learning	Evaluación dinámica del riesgo de incendio y método de alerta temprana fusionados con aprendizaje profundo	La invención proporciona un método de evaluación dinámica del riesgo de incendio y de alerta temprana fusionado con un algoritmo de aprendizaje profundo. Según este método, los datos relacionados con incendios se recopilan en tiempo real desde varias fuentes, como un sensor, se realiza la limpieza, estandarización y extracción de características de los datos y se generan datos de entrada de alta calidad. Y con base en la red neuronal convolucional y recurrente, construir un modelo de predicción de riesgo de incendio y realizar el entrenamiento y verificación del modelo mediante el análisis de datos históricos de incendios. El sistema puede monitorear datos de edificios y entornos en tiempo real, evaluar riesgos de incendio y generar la información de alerta temprana correspondiente. Y el módulo de decisión de alerta temprana compara la salida del modelo con un valor umbral establecido, y una vez que el riesgo excede el valor umbral, el sistema envía automáticamente información de alerta temprana, para que los gerentes y los departamentos de bomberos puedan tomar medidas a tiempo. El sistema también proporciona una interfaz de usuario y un mecanismo de retroalimentación para ayudar al usuario a monitorear el resultado de una evaluación de riesgos en tiempo real y optimizar continuamente el rendimiento del sistema.(3)	UNIV SHENYANG
3	CN119132017A-2024-12-13	Forest fire intelligent prediction and early warning system integrating machine learning and ecological behavior recognition	Sistema inteligente de predicción y alerta temprana de incendios forestales que integra aprendizaje automático y reconocimiento del comportamiento	La invención proporciona un sistema inteligente de predicción y alerta temprana de incendios forestales que integra detección remota por satélite, patrullaje con vehículos aéreos no tripulados, monitoreo terrestre y otras tecnologías e identifica de manera inteligente los comportamientos ecológicos mediante el uso de un algoritmo de aprendizaje profundo. El sistema se compone de cuatro módulos principales: un módulo de adquisición de datos de múltiples fuentes, un módulo de identificación del	UNIV BEIJING FORESTRY



			nto ecológico.	comportamiento ecológico, un módulo de modelo de predicción de aprendizaje automático y un módulo inteligente de alerta temprana y respuesta a emergencias. Se monitorea exhaustivamente el entorno forestal, se analizan datos ecológicos, se predice con precisión el riesgo de incendio, se genera automáticamente información de alerta temprana y el sistema está estrechamente vinculado con un sistema de emergencia. El sistema resuelve eficazmente los problemas de los medios tradicionales de alerta temprana únicos, la poca puntualidad y la precisión insuficiente, mejora significativamente la precisión y la velocidad de respuesta de la alerta temprana de incendios forestales y proporciona un poderoso apoyo técnico para la protección de los recursos forestales y la seguridad del entorno ecológico.	
4	CN118982902A:2024-11-19	Rainfall type landslide early warning system based on deep learning model	Sistema de alerta temprana de deslizamientos de tierra por lluvia basado en un modelo de aprendizaje profundo	La invención se refiere al campo técnico de los sistemas de alerta temprana, en particular a un sistema de alerta temprana de deslizamientos de tierra de tipo lluvia basado en un modelo de aprendizaje profundo, que comprende un módulo de recopilación y procesamiento de datos, un módulo de construcción de modelos, un módulo de evaluación de riesgo de deslizamientos de tierra y un módulo de monitoreo en tiempo real, en donde el módulo de recopilación y procesamiento de datos comprende una unidad de recopilación de datos de lluvia, una unidad de recopilación de datos del entorno geológico, una unidad de recopilación de datos de monitoreo y una unidad de preprocesamiento de datos, la unidad de recopilación de datos de lluvia se utiliza para recopilar datos de lluvia históricos y en tiempo real, y el módulo de construcción de modelos comprende una unidad de selección de modelos de aprendizaje profundo y una unidad de entrenamiento de modelos. El módulo de evaluación de riesgo de deslizamientos de tierra comprende una unidad de estimación del grado de susceptibilidad a deslizamientos de tierra y una unidad de predicción de precipitaciones; el módulo de monitoreo en tiempo real comprende una unidad de actualización de monitoreo de modelos y una unidad de alerta temprana; de acuerdo con el sistema, se puede mejorar la eficiencia del entrenamiento del modelo y la precisión de la predicción, mientras tanto, se puede realizar un ajuste de retroalimentación en el sistema de alerta temprana de acuerdo con los datos de monitoreo en tiempo real, los parámetros	UNIV CHONGQING JIAOTONG; CHONGQING JIANZHU COLLEGE; CHONGQING BUREAU OF GEOLOGY AND MINERALS EXPLORATION 208 INST OF HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOG



				del modelo y las estrategias de alerta temprana se optimizan continuamente y se mejora la adaptabilidad del sistema.	
5	CN117875500A:2024-04-12	Intelligent flood prevention early warning method and platform based on artificial intelligence	Método y plataforma de alerta temprana para prevención inteligente de inundaciones basado en inteligencia artificial	La invención divulga un método y una plataforma de alerta temprana para la prevención de inundaciones inteligentes basados en inteligencia artificial, y se relaciona con el campo técnico de alerta temprana para la prevención de inundaciones, y el método comprende los siguientes pasos: S1, recopilar datos meteorológicos, hidrológicos y geográficos de una región designada, llevar a cabo la integración de datos, realizar el preprocesamiento de los datos y llevar a cabo la recopilación de los datos; extraer precipitaciones, cambios en el nivel del agua y características topográficas de los datos preprocesados; S2, usar un algoritmo de aprendizaje automático para entrenar datos históricos, modos de aprendizaje y reglas en los datos históricos, recopilar, integrar y analizar datos meteorológicos, hidrológicos y geográficos, usar el algoritmo de aprendizaje automático para entrenar los datos históricos y establecer un sistema de alerta temprana y un modelo de predicción para realizar el monitoreo y la predicción en tiempo real de los riesgos de inundación. A través del análisis en tiempo real de un algoritmo de inteligencia artificial, se juzga si existe o no riesgo de inundación en una región actual, se proporciona la información de alerta temprana correspondiente y, mientras tanto, se muestran las condiciones meteorológicas e hidrológicas y la información de alerta temprana de la región en tiempo real mediante el establecimiento de una plataforma de prevención de inundaciones.	UNIV YANGZHOU
6	US11798400B2:2023-10-24	Handheld monitoring and early warning device for fusarium head blight of in-field wheat and early warning	Dispositivo portátil y método de monitoreo y alerta temprana para la fusariosis de la espiga del trigo de campo	Un dispositivo portátil de monitoreo y alerta temprana para la fusariosis de la espiga del trigo en campo incluye una tarjeta de adquisición, un procesador, una cámara, una pantalla táctil, una fuente de alimentación y una tarjeta de red 4G. La tarjeta de adquisición está configurada para adquirir datos. El procesador está configurado para analizar los datos adquiridos, para obtener el crecimiento del trigo basado en un algoritmo de aprendizaje profundo. La cámara está configurada para adquirir información de la raíz, el tallo y la espiga del trigo en campo. La pantalla táctil es un medio configurado para realizar la interacción persona-computadora. La fuente de alimentación está configurada para suministrar energía al dispositivo de monitoreo y alerta	UNIV NANJING AGRICULTURAL



				temprana . La tarjeta de red 4G está configurada para realizar la comunicación de datos y al mismo tiempo comunicarse con un servidor externo en la nube. Además, se describe un método de alerta temprana de un dispositivo portátil de monitoreo y alerta temprana para la fusariosis de la espiga del trigo en campo.	
7	CN117373679A-2024-01-09	Method for diagnosing and early warning heart failure by using chest radiograph and HER data set based on deep learning	Método para el diagnóstico y la alerta temprana de insuficiencia cardíaca mediante radiografía de tórax y un conjunto de datos de EHR basado en un algoritmo de aprendizaje profundo	La invención divulga un método de diagnóstico y alerta temprana basado en un algoritmo de aprendizaje profundo para insuficiencia cardíaca mediante el uso de una radiografía de tórax y un conjunto de datos EHR, y se relaciona con el campo del diagnóstico y la alerta temprana de insuficiencia cardíaca. El algoritmo de aprendizaje profundo se utiliza para predecir la insuficiencia cardíaca y se proporciona una alerta temprana al paciente con insuficiencia cardíaca según el estado de la enfermedad del paciente. El método comprende los siguientes pasos: en primer lugar, preprocesar los datos adquiridos en función de diferentes tipos de datos, luego realizar la extracción de características de los datos de diferentes tipos de datos mediante un bloque CNN y luego entrenar la información de clasificación obtenida mediante una red neuronal convolucional CXINet; y finalmente, unir los datos de diferentes tipos de datos para diagnosticar y advertir tempranamente la insuficiencia cardíaca. Según este método, se puede diagnosticar si el paciente tiene riesgo de sufrir insuficiencia cardíaca superior o no, se puede proporcionar una alerta temprana para el paciente con alto riesgo de enfermedad y la precisión de la predicción es superior a la de un modelo conocido actual en el aspecto de rendimiento.	UNIV TAIYUAN TECHNOLOGY
8	CN120565070A-2025-08-29	Intelligent livestock and poultry epidemic disease early warning and partitioned prevention and control management system and method	Sistema y método inteligente de alerta temprana y gestión de prevención y control de epidemias de ganado y aves de corral.	La invención se relaciona con el campo técnico de la gestión de enfermedades epidémicas en ganado y aves de corral, y particularmente divulga un sistema y método inteligente de alerta temprana y prevención y control particionados de enfermedades epidémicas en ganado y aves de corral, y el método comprende los pasos: instalar una red de sensores inteligentes integrada en una granja de ganado y aves de corral, y recopilar parámetros ambientales, datos de gestión de la alimentación y datos de salud animal en tiempo real a través de una tecnología de Internet de las cosas de bajo consumo de energía; transmitir los datos multidimensionales recopilados a una plataforma en la nube utilizando una tecnología de computación de borde; con	YANG YUKUN



				base en datos multidimensionales, se adopta una tecnología de análisis de fusión de datos de múltiples fuentes y aprendizaje profundo, se construye un modelo dinámico de predicción de riesgo de enfermedad y se introduce la capacidad de generalización de un modelo de optimización de red generativa adversarial en un entorno complejo; al organizar la red de sensores inteligentes integrada, los parámetros ambientales, los datos de gestión de la alimentación y los datos de salud animal en la granja de ganado y aves de corral se recopilan de manera integral en tiempo real, la capacidad de monitoreo temprano de enfermedades epidémicas se mejora notablemente, se detectan riesgos potenciales de enfermedades epidémicas a tiempo y se gana un tiempo precioso para el trabajo posterior de prevención y control.	
9	WO2018063773 05.04.2018	Uso de texto clasificado y algoritmos de aprendizaje profundo para identificar riesgos y proporcionar alerta temprana	Using classified text and deep learning algorithms to identify risk and provide early warning	El aprendizaje profundo se utiliza para identificar riesgos específicos y potenciales para una empresa (de los cuales los litigios son el ejemplo más destacado) mientras dichos riesgos siguen siendo comunicaciones electrónicas internas. El sistema implica la extracción y el uso de clasificaciones de datos existentes (por ejemplo, de una base de datos de litigios) para entrenar uno o más algoritmos de aprendizaje profundo y, a continuación, examinar las comunicaciones electrónicas internas con el algoritmo entrenado, con el fin de generar un resultado puntuado que permita alertar al personal de la empresa sobre los riesgos y tomar medidas a tiempo para evitar que estos causen daños a la empresa o a terceros.	INTRASPEXION INC. [US]/[US]
10	US12468955 11.11.2025	– Meta-learning strategy based method for early warning of attenuation of bearing capacity of soft soil pile foundation	Método basado en una estrategia de metaaprendizaje para la alerta temprana de la atenuación de la capacidad portante de cimentaciones de pilotes de suelo blando	En el campo de la ingeniería geotécnica, el monitoreo y la alerta temprana de la atenuación de la capacidad portante de las cimentaciones sobre pilotes ha sido un tema de investigación importante. Actualmente, los métodos tradicionales, como la observación de asentamientos y el monitoreo de tensión-deformación, se utilizan principalmente en la práctica de la ingeniería para evaluar los cambios en la capacidad portante de las cimentaciones sobre pilotes. Estos métodos pueden registrar el estado de tensión y las características de deformación de las cimentaciones sobre pilotes en tiempo real, lo que proporciona una referencia importante para la seguridad de la ingeniería. Sin embargo, estos métodos de observación pertenecen esencialmente al monitoreo pasivo, solo pueden reflejar la	Wenzhou University



				<p>ocurrencia de la atenuación de la capacidad portante de la cimentación sobre pilotes y no pueden predecir eficazmente una posible tendencia futura de atenuación de la capacidad portante, lo que dificulta aún más la implementación de la alerta temprana.</p> <p>El método de análisis de elementos finitos permite simular el mecanismo de interacción pilote-suelo y calcular la evolución de los campos de tensión y desplazamiento mediante el establecimiento de un modelo numérico, con el fin de realizar un estudio predictivo de la ley de atenuación de la capacidad portante de la cimentación de pilotes. Sin embargo, el análisis de elementos finitos presenta limitaciones obvias. En primer lugar, establecer un modelo geológico preciso y una relación ontológica entre los materiales requiere una gran cantidad de investigación de campo y datos de pruebas en interiores. En segundo lugar, un proceso computacional no lineal complejo consume un tiempo y recursos computacionales considerables. Más importante aún, debido a la variabilidad de las condiciones geológicas y los entornos de ingeniería, es difícil transferir directamente un modelo de elementos finitos establecido para un proyecto específico a otros proyectos para su uso, lo que restringe seriamente la popularización y aplicación del método en la práctica de la ingeniería.</p> <p>Por consiguiente, el desarrollo de métodos rápidos, precisos y de aplicación universal para predecir la atenuación de la capacidad portante de las cimentaciones con pilotes es fundamental para mejorar la seguridad y la rentabilidad de la ingeniería de cimentaciones con pilotes. Esto requiere el establecimiento de un sistema de predicción y alerta temprana más eficiente y práctico, basado en métodos tradicionales de monitorización y análisis numérico, en combinación con nuevas tecnologías de detección y algoritmos inteligentes.</p>		
11	US20250299818 25.09.2025	–	Deployment and use of a continuous analyte monitoring system for improved home monitoring and readmission optimization	Implementación y uso de un sistema de monitoreo continuo de analitos para mejorar el monitoreo domiciliario y optimizar la readmisión	La presente divulgación proporciona un sistema de soporte de decisiones que aprovecha las técnicas de monitoreo continuo de analitos para monitorear continuamente los niveles de analito de un paciente con el fin de generar resultados previstos para el paciente basados en los datos monitoreados continuamente y facilitar decisiones de tratamiento más tempranas para el paciente basadas en el resultado previsto para el paciente.	Abbott Diabetes Care Inc.



				<p>El sistema de apoyo a la toma de decisiones puede implementarse en diversos entornos, tanto hospitalarios como ambulatorios. Específicamente, como se describe en este documento, el sistema puede implementar un modelo de apoyo a la toma de decisiones basado en aprendizaje automático para generar resultados que se utilizan en un entorno hospitalario y brindan apoyo a los médicos tratantes en tiempo real para brindar apoyo hospitalario en tiempo real. Como alternativa, el sistema de apoyo a la toma de decisiones descrito en este documento puede utilizarse en el hogar para brindar apoyo a pacientes o médicos en la toma de decisiones y reducir eficazmente los reingresos mediante la monitorización de analitos en tiempo real. Un reingreso es un evento en el que un usuario ingresa como paciente en un hospital dentro de un período predeterminado después de su alta (por ejemplo, dentro de los 30 días posteriores al alta). El modelo de apoyo a la toma de decisiones se implementa en combinación con un sistema de monitorización continua de analitos y se configura para enviar alertas y notificaciones a los dispositivos designados en función de las afecciones médicas detectadas. También se describen aquí sistemas, métodos y realizaciones de productos de programas informáticos que proporcionan un sistema mejorado de alertas y recomendaciones para reducir los reingresos de pacientes mediante la detección y el tratamiento de afecciones basadas en datos continuos de analitos. Las técnicas descritas aquí utilizan datos de analitos, como lactato, glucosa y creatinina, proporcionados por un sensor continuo de analitos para predecir los resultados del paciente y generar recomendaciones para reducir los reingresos, tanto en el hospital como en el domicilio. El sistema descrito permite la predicción temprana y no invasiva de los resultados del paciente y la posterior generación de acciones recomendadas para facilitar la intervención con el objetivo de reducir los reingresos.</p>	
12	US20240087071 – 14.03.2024	Methods and internet of things systems for generating early warning information in risk region in smart city	Métodos y sistemas de internet de las cosas para generar información de alerta temprana en región de riesgo en	Una de las realizaciones de la presente divulgación proporciona un método para generar información de alerta temprana en una región de riesgo en una ciudad inteligente. Este método se ejecuta mediante un sistema de Internet de las Cosas (IoT). El sistema de IoT incluye una plataforma de usuario, una plataforma de servicio, una plataforma de gestión de seguridad pública, una plataforma de red	CHENGDU QINCHUAN IOT TECHNOLOGY CO., LTD.



			ciudad inteligente	<p>de detección y plataformas de objetos que interactúan entre sí. El método incluye: obtener, a partir de la plataforma de usuario, una instrucción de consulta del usuario para cada región y enviarla a la plataforma de gestión de seguridad pública a través de la plataforma de servicio; en respuesta a la instrucción de consulta, obtener, desde al menos un dispositivo de monitorización de al menos una región objetivo, a partir de una subplataforma de red de detección de dicha plataforma, una imagen de monitorización de dicha región objetivo por parte de la plataforma de gestión de seguridad pública; dicho dispositivo de monitorización se configura en las diferentes plataformas de objetos; enviar, a partir de la subplataforma de red de detección, la imagen de monitorización de la región objetivo correspondiente a una subplataforma de gestión de la plataforma de gestión de seguridad pública. Y, con base en la subplataforma de gestión, procesar la imagen de monitoreo para determinar un índice sospechoso de al menos una persona en la imagen de monitoreo; determinar una o más personas sospechosas en respuesta a que el índice sospechoso cumpla una condición preestablecida; determinar, con base en imágenes de monitoreo de una pluralidad de fotogramas adyacentes, una distancia entre las personas sospechosas; determinar, con base en la distancia, un grupo sospechoso al que pertenecen las personas sospechosas; determinar, con base en una suma de índices de grupos sospechosos de grupos sospechosos en la región objetivo, un índice de riesgo de la región objetivo; generar información de alerta temprana en respuesta al índice de riesgo de la región objetivo mayor que un primer umbral, y enviar la información de alerta temprana a la plataforma de usuario a través de una base de datos general de la plataforma de gestión de seguridad pública y la plataforma de servicio.</p>	
13	US 11442187 B2 – Sep 13, 2022	Microseismic wireless monitoring, receiving and early warning system of rock	Sistema inalámbrico microsísmico de monitoreo, recepción y alerta temprana de rocas	<p>La presente invención describe un sistema inalámbrico microsísmico de monitoreo, recepción y alerta temprana de rocas, conectado a sistemas inteligentes microsísmicos de adquisición y transmisión inalámbrica de datos de rocas vía satélite. El sistema comprende un módulo receptor inalámbrico que recibe paquetes de datos microsísmicos procesados por cada sistema de transmisión inalámbrica de señales microsísmicas de roca vía satélite; un módulo de almacenamiento, conectado al módulo receptor inalámbrico, que</p>	Univ Dalian Tech



				almacena internamente la información básica de cada sistema de transmisión de señales microsísmicas de la roca, almacenando automáticamente y en tiempo real los paquetes de datos microsísmicos y gestionándolos; y un módulo de procesamiento, conectado al módulo de almacenamiento, que calcula y analiza para obtener información a nivel de fuente microsísmica de una señal de rotura de roca y la transmite al módulo de almacenamiento para su almacenamiento.	
--	--	--	--	---	--

Nota. Elaboración propia

4.3. Análisis de la Innovaciones y patentes nacionales

a. Tesis nacionales

La revisión de las tesis nacionales sobre sistemas de alerta temprana recuperadas en la base de datos ALICIA (Acceso Libre a la Información Científica para la Innovación) del Concytec muestra un campo todavía relativamente reciente, con trabajos que van desde 2011 hasta, al menos, 2025, y distribuidos en 37 tesis de grado, 12 tesis de maestría y 1 tesis doctoral. Éstos están predominantemente orientados a amenazas hidrometeorológicas y de movimientos en masa: inundaciones de ríos como Huarmey, Chillón, Catacaos y Urubamba, así como huaycos y activación de quebradas. Predominan las propuestas de diseño de sistemas de alerta (SAT) basados en modelamiento hidrológico-hidráulico y sensores, orientados a la gestión de cuencas y protección de poblaciones y campamentos de construcción, con un énfasis claro en la ingeniería civil, hidráulica y de recursos hídricos. En paralelo, aparecen líneas más tecnológicas que integran telecomunicaciones y cómputo: uso de redes GPON y simulación en OptiSystem/NS-3 para transmisión en tiempo real de datos críticos, GSM para telemetría de niveles de río, y, más recientemente, modelos de aprendizaje automático (SARIMAX) como núcleo de sistemas de alerta para inundaciones. También se identifican enfoques de evaluación de impacto y concienciación comunitaria (por ejemplo, sobre SAT de huaycos en Chosica) y una tesis doctoral orientada a la prevención del riesgo de desastres en entornos educativos, lo que sugiere una expansión hacia dimensiones sociales y educativas de la gestión del riesgo. En conjunto, el corpus revisado está dominado por tesis de grado, con algunos trabajos de maestría y un caso de doctorado, lo que evidencia que el tema se ha instalado sobre todo en la formación



profesional y de posgrado aplicada, pero aún con margen para mayor diversificación temática (otras amenazas, integración multisectorial) y metodológica (validación operativa de SAT en funcionamiento).

A continuación, una tabla resumen de algunas tesis representativas identificadas:

Tabla 3. Consolidado de Tesis

Título	Autores	Universidad	Año	Grado académico
Sistema de alerta temprana ante inundaciones, caso: Cuenca del río Huarmey, 2021	Milla Villafana, Víctor Enrique; Rubina Moreno, José Yhim	Universidad César Vallejo	2021	Tesis de grado
Propuesta de un sistema de alerta temprana de inundación basado en inteligencia artificial para el río Catacaos – Piura; 2023	More Gomez, Eduardo Jose; Yarleque Ramos, Pablo Junior	Universidad César Vallejo	2023	Tesis de grado
Diseño de un sistema de alerta temprana basado en tecnología GPON para la prevención de deslizamientos e inundaciones en el distrito de Huallanca, Áncash	Huanca Pari, John Jason	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa	2025	Tesis de grado
Sistema de alerta temprana de inundaciones e implementación de un sistema Scada: Aplicación en la cuenca del río Chillón	Bedriñana Carrasco, Omar	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	2015	Tesis de grado
Diseño de un sistema de alerta temprana para la protección de campamentos de construcción ante eventos hidrológicos extremos - cuenca Urubamba	Niño de Guzmán Cerna, Jorge Angelo	Universidad Nacional Agraria La Molina	2017	Tesis de grado
Evaluación del impacto del sistema de alerta temprana de huaycos y su concienciación en el Centro Poblado Nicolás de Piérola Chosica 2020	Alzamora Aragón, Carlos Fausto	Universidad César Vallejo	2020	Tesis de maestría
Diseño e implementación de un sistema de alerta temprana (SAT) de peligros naturales, para la prevención en la gestión del riesgo de desastres y salvaguardar la integridad física de los estudiantes de educación básica regular de la región Arequipa 2019	Jimenez Montes De Oca, Romel Luis	Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa	2019	Tesis doctoral
Diseño e implementación de un Sistema de Alerta Temprana ante desborde de ríos utilizando la Red GSM	Godinez Tello, Richard Junior Manuel	Universidad Nacional Mayor de San Marcos	2011	Tesis de grado



Diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de activación de quebradas con estaciones pluviométricas automáticas con software libre en el centro y sur del país monitoreados por la Autoridad Nacional del Agua	Lunarejo Hualpa, Edson Alahor	Universidad Tecnológica del Perú	2021	Tesis de grado
--	-------------------------------	----------------------------------	------	----------------

b. Patentes nacionales

El análisis de las patentes nacionales vinculadas a sistemas de alerta temprana en INDECOPI muestra una evolución clara, entre 2014 y 2025, desde soluciones centradas en la recepción y difusión básica de mensajes de emergencia hacia sistemas más especializados, autónomos e inteligentes. Se identifican, por un lado, desarrollos ligados a la infraestructura de comunicaciones: dispositivos y métodos para recibir información de alertas de emergencia, así como sistemas para enviar mensajes de alerta y controlar dinámicamente su flujo en redes móviles, junto con esquemas de selección inteligente de canales de mensajería y software asociado; estos apuntan a robustecer la capa de telecomunicaciones del sistema de alerta y optimizar el uso de redes móviles y servicios como RDS para alertas sísmicas y similares. En paralelo, emergen modelos de utilidad orientados a amenazas específicas y contextos de riesgo concretos: sistemas compactos y autónomos para detección de gases tóxicos con alertas inalámbricas, módulos de monitoreo y alerta para prevención de huaycos, detectores sísmicos autosuficientes con señal luminosa y sonora, dispositivos flotantes autónomos para detección temprana de contaminación por hidrocarburos, así como dispositivos de alerta, seguridad y seguimiento personal o paletas de alerta sísmica activadas durante desastres. En conjunto, este portafolio evidencia una doble tendencia: (i) la consolidación de una capa tecnológica de mensajería y comunicaciones de emergencia a nivel de red, y (ii) la proliferación de soluciones de campo, autónomas y de propósito específico, que integran sensores multiparamétricos, energía propia y comunicación inalámbrica, reflejando una madurez creciente del ecosistema nacional de innovación en sistemas de alerta temprana.

A continuación, una tabla resumen de algunas patentes representativas identificadas:



Tabla 4. Consolidado de patentes nacionales

Expediente	Tipo de Modalidad	Título	Fecha
000815-2025/DIN	Modelo de Utilidad	SISTEMA COMPACTO Y AUTÓNOMO PARA LA DETECCIÓN DE GASES TÓXICOS CON ALERTAS INALÁMBRICAS	2025-04-14
000256-2025/DIN	Modelo de Utilidad	SISTEMA MODULAR DE MONITOREO Y ALERTA PARA LA PREVENCIÓN DE HUAYCOS	2025-01-27
000215-2025/DIN	Modelo de Utilidad	DETECTOR SÍSMICO AUTOSUFICIENTE CON ALERTA LUMINOSA Y SONORA	2025-01-21
000476-2024/DIN	Modelo de Utilidad	DISPOSITIVO DECODIFICADOR RDS PARA RECEPCIÓN DE ALERTA TEMPRANA DE SISMO	2024-03-15
002980-2023/DIN	Modelo de Utilidad	DISPOSITIVO FLOTANTE AUTÓNOMO PARA DETECCIÓN TEMPRANA DE CONTAMINACIÓN DE AGUAS POR HIDROCARBUROS MEDIANTE SENSORES MULTIPARAMÉTRICOS	2023-10-31
002261-2020/DIN	Modelo de Utilidad	DISPOSITIVO DE ALERTA, SEGURIDAD Y SEGUIMIENTO PERSONAL	2020-12-30
000724-2022/DIN	Patente de Invención	SELECCIÓN INTELIGENTE DE CANALES DE MENSAJERÍA Y CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS PARA SISTEMAS DE ALERTA, SISTEMAS QUE INCORPORAN LOS MISMOS Y MÉTODOS Y SOFTWARE PARA LOS MISMOS	2020-07-08
000099-2021/DIN	Patente de Invención	SISTEMA Y MÉTODO DE ALERTA DE TIEMPO ESTIMADO DE LLEGADA Y DE INTENSIDAD ESPERADA EN UNA ZONA DETERMINADA PRODUCTO DE UN MOVIMIENTO SÍSMICO	2019-07-23
003235-2018/DIN	Modelo de Utilidad	PALETA DE ALERTA SÍSMICA CON ACTIVACIÓN DURANTE UN EVENTO DE DESASTRE NATURAL	2018-12-17
000233-2018/DIN	Patente de Invención	MÉTODOS Y SISTEMAS PARA ENVIAR MENSAJES DE ALERTA EN REDES MÓVILES	2016-08-10
000234-2018/DIN	Patente de Invención	MÉTODOS Y SISTEMAS PARA CONTROL DINÁMICO DE FLUJO DE MENSAJES DE ALERTA EN REDES MÓVILES	2016-08-10
000493-2016/DIN	Patente de Invención	DISPOSITIVO DE RECEPCIÓN Y MÉTODO DE RECEPCIÓN PARA RECIBIR INFORMACIÓN DE ALERTAS DE EMERGENCIA, PROGRAMA DE COMPUTACIÓN Y DISPOSITIVO EXTERNO	2014-09-12

Nota. Elaboración propia



5. Tendencias Tecnológicas



Fuente	Tema	Resumen
https://wmo.int/topics/early-warning-system	Sistema de alerta temprana	<p>Un sistema de alerta temprana sólo es eficaz cuando puede responder a las necesidades y se actúa en consecuencia.</p> <p>Al identificar los peligros futuros lo antes posible, las comunidades pueden prepararse con antelación y tratar de minimizar las interrupciones y los daños.</p> <p>Los peligros incluyen fenómenos meteorológicos, como ciclones, tormentas, inundaciones y tsunamis. También pueden incluir olas de calor, incendios forestales, sequías, tormentas de arena y polvo, erupciones volcánicas, terremotos y otros desastres no meteorológicos, como brotes de enfermedades, accidentes tecnológicos y plagas.</p> <p>Un sistema de alerta temprana se compone de cuatro elementos:</p> <ul style="list-style-type: none">• conocimiento del riesgo de desastres,• detección, monitoreo, análisis y pronóstico,• difusión y comunicación de alertas, y• capacidades de preparación y respuesta. <p>Los cuatro elementos son igualmente importantes para reducir el impacto de los fenómenos extremos. Cada elemento, aplicado de forma independiente o en combinación con otros, debe contar con la participación de las personas y organizaciones en riesgo.</p>
https://wmo.int/publication-series/global-status-of-multi-hazard-early-warning-systems-2023	Estado mundial de los sistemas de alerta temprana multirriesgo 2023	<p>El informe "Estado Global de los Sistemas de Alerta Temprana Multirriesgo 2023" describe los avances logrados en el marco de la iniciativa Alertas Tempranas para Todos (EW4All). Su objetivo es destacar las buenas prácticas mediante estudios de caso y ejemplos de iniciativas globales y regionales que contribuyen al logro del objetivo establecido por el secretario general de las Naciones Unidas.</p> <p>África ha duplicado la calidad de la cobertura de los sistemas de alerta temprana, pero aún se encuentra por debajo del promedio mundial. Menos de la mitad de los países menos adelantados y solo el 40% de los pequeños Estados insulares en desarrollo cuentan con un sistema de alerta temprana multirriesgo. En los Estados Árabes, se observó que el conocimiento sobre los riesgos para respaldar los sistemas de alerta temprana es particularmente bajo.</p> <p>El informe analiza los últimos datos un año después del inicio de la Iniciativa de Alertas Tempranas para Todos, que tiene como objetivo cubrir a todas las personas en todas partes para 2027.</p>
Global Status of Multi-Hazard Early Warning Systems 2023	CINCO ENFOQUES PARA CONSTRUIR SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA FUNCIONALES DEL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO	<p>Esta publicación tiene como objetivo apoyar a los profesionales y socios del PNUD (organizaciones internacionales, organizaciones no gubernamentales, gobiernos y organizaciones de la sociedad civil) en el proceso de establecer o mejorar los sistemas de alerta temprana. A diferencia de las numerosas guías paso a paso y listas de verificación existentes, esta publicación identifica intervenciones específicas que pueden impulsar la eficiencia y la eficacia de los sistemas de alerta temprana en cinco áreas clave. Destaca perspectivas innovadoras y soluciones asociadas a desafíos comunes en el proceso de alerta temprana, como las limitaciones presupuestarias, las capacidades técnicas e institucionales limitadas y la falta de recursos humanos. Gracias a su enfoque práctico, donde las consideraciones teóricas se sustentan en ejemplos concretos de proyectos y soluciones, esta publicación también contribuye al intercambio de conocimientos locales y puede inspirar la difusión y exportación de soluciones a diferentes países y comunidades.</p> <p>La publicación se divide en dos secciones principales:</p> <p>En la primera parte, se presentan las herramientas teóricas para comprender el marco legal e institucional necesario para el proceso de alerta temprana, seguidas de una introducción a qué son los sistemas de alerta</p>



		<p>temprana y cómo se componen. Para concluir esta sección introductoria, se revisan los desafíos comunes que se encuentran durante el proceso de alerta temprana.</p> <p>En la segunda parte, la más importante de esta publicación, se abordan los desafíos mencionados mediante un catálogo de soluciones. Se han analizado diversos proyectos, tanto a nivel global como regional (Europa del Este, Cáucaso, Asia Central), para destacar cómo abordar desafíos específicos y cómo implementar eficientemente los sistemas de alerta temprana. Estos se dividen en cinco áreas de intervención:</p> <ul style="list-style-type: none">` Desarrollo de capacidades institucionales y legales` Implementación de tecnología` Alcance comunitario y soluciones comunitarias` Participación del sector privado` Cooperación internacional e intercambio de datos. <p>En cada una de estas áreas de intervención, se presenta una selección ilustrativa de soluciones prácticas implementadas en proyectos de desarrollo. Se trata de medidas de preparación ante el riesgo de desastres desarrolladas en regiones que enfrentan un aumento de las amenazas climáticas, junto con altos niveles de vulnerabilidad social preexistente. Esta publicación no pretende ser una guía completa para la implementación de sistemas de alerta temprana, sino una herramienta práctica para impulsar dichos sistemas a través de las cinco áreas de intervención mencionadas. Ni estas cinco áreas ni las soluciones abarcan todas las posibilidades y medidas de intervención; más bien, destacan métodos innovadores y rentables que ya se han probado con éxito.</p>
https://www.unep.org/topics/climate-action/climate-transparency/climate-information-and-early-warning-systems	Sistemas de información climática y alerta temprana	<p>Los sistemas de alerta temprana (SAT) son una medida de reducción del riesgo de desastres y de adaptación al cambio climático que ha demostrado ser rentable y que salva vidas, medios de subsistencia y ecosistemas frente a peligros relacionados con el clima.</p> <p>Con el cambio climático, se prevé un aumento en la frecuencia e intensidad de los riesgos climáticos. Los Sistemas de Alerta Temprana Multirriesgo (SAMTR) basados en el impacto y centrados en las personas tienen un gran potencial para prevenir el riesgo de desastres y minimizar las pérdidas y los daños causados por los riesgos climáticos, al apoyar la toma de decisiones bien fundamentada y con base científica. Avisar con tan solo 24 horas de antelación sobre un evento peligroso inminente podría reducir los daños en un 30 %, mientras que invertir tan solo 800 millones de dólares estadounidenses en SAMTR en países en desarrollo evitaría pérdidas de entre 3 000 y 16 000 millones de dólares anuales.</p> <p>Lanzada en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2022 o la Conferencia de las Partes de la CMNUCC (COP27), la Iniciativa de Alertas Tempranas para Todos (EW4All) del Secretario General de las Naciones Unidas articula cuatro pilares para la implementación de los Sistemas de Información Climática y Alerta Temprana (SICA) de Alerta Temprana (SITAC): (1) Conocimiento y Gestión de Riesgos; (2) Observaciones y Pronósticos; (3) Difusión y Comunicación; (4) Preparación para la Respuesta. En consonancia con la iniciativa de las Naciones Unidas, la cartera de Sistemas de Información Climática y Alerta Temprana (SICA) del PNUMA se centra en el fortalecimiento integral de los cuatro elementos clave de los SICA, que a su vez sustentan la formulación de políticas, la planificación y la acción temprana basadas en la evidencia.</p>

Nota: Elaboración propia



Conclusiones

- La tecnología de SAT impulsada por IA se encuentra en una fase de crecimiento exponencial. La producción científica es más global y diversa, con estudios de casos críticos en países en desarrollo (África, América Latina, Asia), abordando problemas de alta prioridad local (dengue, sequías). El sector académico (universidades e institutos de investigación) es la principal fuerza impulsora de estas tecnologías.
- El motor principal de las patentes es la predicción y mitigación de riesgos físicos y climáticos (desastres geológicos, incendios, inundaciones, sequías). Estos sistemas buscan proteger infraestructura crítica y medios de vida.
- Existe una marcada diversificación hacia la salud predictiva (diagnóstico de insuficiencia cardíaca, monitoreo de analitos, vigilancia de enfermedades infecciosas) y la gestión de riesgos empresariales y urbanos (riesgo de litigio, seguridad en ciudades inteligentes, epidemias en ganadería).
- La comunidad científica identifica la necesidad crítica de migrar los SAT a la infraestructura de computación en la nube para lograr escalabilidad y accesibilidad global en marcos de IA responsables que garanticen que los sistemas sean centrados en las personas.