

# Soluciones tecnológicas para la alerta y difusión de terremotos y tsunamis en la ciudad de Lima Metropolitana y Callao

**Erikson D. PEREZ**

Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas  
Lima, Perú

**Alexander OLIVARES**

Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas  
Lima, Perú

**Alfredo BARRIENTOS**

Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas  
Lima, Perú

## RESUMEN

Los desastres naturales como terremotos y tsunamis es una de las mayores preocupaciones y problemáticas que los países intentan resolver, siendo el Perú no ajeno a dicha cuestión. De acuerdo con el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), un tercio de la población peruana vive en la capital. El Plan de Operaciones de Emergencia Metropolitana (POE), apoyado en la ley del SINAGERD, plantea que los gobiernos elaboren una serie de planes que garanticen la reducción del riesgo de desastres. Sin embargo, al evaluar la situación actual observamos que no todos cumplen al menos con la documentación básica de cómo actuar frente desastre. Además, existe insuficiente conocimiento y difusión de avances tecnológicos que podrían ayudar a reducir la pérdida de vidas humanas y daño en infraestructura en la ciudad de Lima y Callao en caso de un terremoto y tsunami.

En esta nueva era digital, la tecnología es una herramienta poderosa que ayuda a reducir el daño cuando se materializa un desastre. Este documento propone soluciones tecnológicas de la información y la comunicación (TIC) para la difusión y alerta de terremotos y tsunamis frente a la materialización de dicho evento en Lima y Callao.

**Palabras Claves:** prevención de desastres naturales, alerta y difusión de desastres naturales, tecnologías para desastres naturales, gestión de desastres naturales, seguridad pública.

## 1. INTRODUCCIÓN

Lima es la segunda metrópolis del mundo localizada en medio de un desierto que alberga a casi 10 millones de personas [1] quienes representan un tercio del total de la población peruana, además, la capital del Perú es considerada como el centro de la gran parte de las actividades económicas, servicios y donde las empresas nacionales y privadas toman las decisiones de carácter nacional. La posibilidad de que ocurran sismos de gran magnitud asociados a tsunamis es muy alta dada su ubicación en la zona costera, tal como lo determinan la recurrencia histórica y la disposición geológica. Dentro de varios distritos de Lima, existen estructuras, casas, espacios de trabajo, entre otros, que al originarse terremotos de mediana y gran magnitud podrían derrumbarse por lo frágiles que son sus estructuras generando caos y daño en la población. De acuerdo con el Instituto Geofísico del Perú (IGP), existe una gran

probabilidad de que ocurra un terremoto de gran magnitud (8Mw aprox.) similar al presentado en Pisco en el año 2007, tomando en cuenta el silencio sísmico hasta la actualidad. [2]. Además, encuentra ubicada dentro del denominado “Cinturón de Fuego del Pacífico” y casi al borde del encuentro de dos placas tectónicas, la Sudamericana y la de Nazca, donde se produce el efecto de subdivisión que ha provocado una gran cantidad de sismos. [2]

La gestión de desastres se puede definir como un enfoque sistemático que implica la planificación y gestión de la mitigación, el rescate, la respuesta y la recuperación de desastres, orientando, además, estrategias y acciones en todos los niveles de gobierno y de la sociedad, con el fin de proteger la vida de la población, el patrimonio de las personas y del Estado. En el Perú, la ley SINAGERD plantea que los gobiernos regionales y locales elaboren una serie de planes para garantizar la incorporación de la reducción del riesgo de desastres en los componentes prospectivos, correctivos y reactivos. La Municipalidad Metropolitana de Lima, como entidad de gobierno en el nivel provincial y regional es el ente conductor del Sistema Regional de Gestión del Riesgo de Desastres en su ámbito territorial. [2]

Con el rápido avance de la tecnología de la información y la comunicación (TIC) es posible iniciar una respuesta rápida a cualquier situación de desastre en un tiempo y presupuesto razonables. La digitalización de datos, el intercambio de datos a través de la nube, la gestión y el uso de Big Data a través de análisis, para incluir inteligencia aumentada, han desempeñado un papel fundamental en dar sentido a los aspectos críticos dentro de la gran cantidad de información recopilada en desastres y emergencias complejas. [3] En este sentido, soluciones propuestas están en línea con las nuevas tendencias tecnológicas, en función de las características del área de estudio. Por tanto, se sugiere que las siguientes soluciones tecnológicas sean aplicadas en un eventual Plan De Operaciones De Emergencia Metropolitana (POE).

## 2. ESTADO DEL ARTE

El Sistema de Gestión de Desastres (DMS) es un tipo de sistema de información que ayuda a los responsables de la toma de decisiones y al personal de respuesta a adquirir, gestionar y utilizar la información de desastres para una gestión de desastres oportuna y eficaz. Los componentes principales de DMS se pueden dividir en integración de datos, minería de

datos y toma de decisiones con múltiples criterios. DMS puede considerarse como sistemas altamente integrados y complejos que requieren un diseño y mantenimiento específicos de la aplicación. [4]

Las aplicaciones de gestión de desastres se pueden clasificar en fases previas y posteriores al desastre, ya que ofrecen diversas funcionalidades con diferentes requisitos de tiempo de respuesta, precisión y eficacia. Las aplicaciones previas al desastre, como la predicción de desastres, el sistema de alerta temprana y los ejercicios de simulación, etc., se centran en el análisis de datos medidos e inclusivos. Por otro lado, las aplicaciones posteriores a un desastre, como la evacuación, las operaciones de rescate y el monitoreo, etc., requieren resultados espontáneos y precisos. [4]. Los DMS deben poseer los factores técnicos deseables, tales como confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, precisión y requisitos de usabilidad. Como se clasifica en la Tabla 1, cada aplicación DMS debe satisfacer los requisitos.

Tabla 1: Principales Aplicaciones Y Requisitos De DMS

Estado de desastre	Aplicaciones DBMS	Requisitos de DMS
Antes del desastre	Predicción de desastres Advertencia temprana Ejercicios de simulación	Fiabilidad Disponibilidad Mantenibilidad Precisión Usabilidad
Después del desastre	Evacuación Asistencia de rescate Monitoreo / Vigilancia Gestión de logística	

S.A Shah (2019). Principales aplicaciones y requisitos de DMS. The Rising Role of Big Data Analytics and IoT in Disaster Management: Recent Advances, Taxonomy and Prospects.

### Difusión y alerta de terremotos y tsunamis

La alerta temprana de desastres (inundaciones, deslizamientos de tierra, tsunamis, incendios forestales, tormentas, etc.) puede prevenir la pérdida de vidas y minimizar los costos de impacto del desastre. Una advertencia notificada con tiempo suficiente antes del desastre permitirá a las personas evacuar el área y ayudará a los socorristas a organizarse y tomar las acciones de precaución. [4]

Los sistemas de alerta temprana reciben los datos de sensores en tiempo real, procesan la información y brindan un servicio de alerta interactivo para obtener más información. Con la evolución y el uso generalizado de diferentes dispositivos IoT como los teléfonos inteligentes, es posible implementar sus sensores integrados (GPS, acelerómetros, giroscopios, etc.) para monitorear y proporcionar datos valiosos para los sistemas de alerta temprana.

### Tecnologías para la gestión de desastres naturales

El conocimiento y difusión de los últimos avances tecnológicos podrían alertar al ciudadano de la ocurrencia de un posible desastre en la ubicación respectiva. Buscamos algunas

investigaciones relaciones a propuesta de tecnologías para la gestión de desastres naturales.

En la investigación “Internet of Things for Disaster Management: State-of-the-Art and Prospects”, los autores P. P. Ray, M. Mukherjee and L. Shu, se enfocan en Internet de las cosas (IoT), la cual aprovecha la heterogeneidad, interoperabilidad, procesamiento distribuido y análisis en tiempo real. Se ha demostrado que IoT es lo suficiente capaz de proporcionar soluciones significativas, escalables, portátiles y energéticamente eficientes para diversos problemas en la gestión de desastres. Además, encontraron algunos ejemplos de soluciones basadas en IoT (tanto en hardware como en la nube) para la gestión de desastres disponibles en el mercado existente (propietario y caso de prueba).

En el artículo “Disaster Management in the Digital Age desarrollado por J.W. Talley, aborda una propuesta de tecnología para la gestión de desastres en los Estados Unidos, se abordan de dos proyectos. Trace and Trace es una solución basada en blockchain para procesar, asignar recursos y rastrear pagos asociados con la asistencia en casos de desastre. Utiliza el proceso de coordinación actual, pero integra datos en tiempo real. El resultado es una aceleración del intercambio de datos y una mejor toma de decisiones. La segunda propuesta es Grid Resilience Monitoring, busca ayudar a los centros de operaciones durante una emergencia, entregando un sistema para monitorear las condiciones, impactos y operaciones de emergencia asociadas. [3]

Otra investigación es Technological solutions for the detection and warning of natural disasters caused by the “El Niño” Phenomenon, desarrollado por Alfredo Barrientos, Erick Pino y Carlos Uribe. [5] Presentan propuestas tecnológicas para la detección y alerta de desastres naturales causadas por el fenómeno del niño. La primera de ellas es Network of wireless sensors for the detection and warning of FEN natural disasters, diseñada para monitorear el estado e impacto provocados por la FEN, como lluvias intensas, huacicos, cambios climáticos y desbordes de ríos; capturando datos en tiempo real. La segunda propuesta es Flood monitoring and warning system using drones, está diseñada para monitorear el estado y el impacto de las inundaciones mediante el uso de drones autónomos que capturan imágenes en tiempo real en el área afectada.

### 3. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS PROPUESTAS

El objetivo de la propuesta es atender la difusión y alerta publica en caso de desastres naturales como terremotos y tsunamis en la ciudad de Lima Metropolitana y Callao.

#### Búsqueda de soluciones tecnológicas

El Perú actualmente está implementando un sistema de Alerta Temprana de Terremotos (EEW), tiene por nombre Sistema De Alerta Sísmica Peruano (SASPE), su objetivo es monitorear la actividad sísmica que ocurre frente a la costa peruana y emitir un mensaje de alerta, con esto garantizar la protección oportuna de los peruanos ante los sismos. [6]. Se escogieron proyectos de difusión y alerta publica con el fin de complementar este sistema.

#### Soluciones Tecnológicas Propuestas

**Alertas de terremotos a dispositivos Android:** los teléfonos Android de los ciudadanos puede formar parte del sistema de alertas de terremotos de Android. [7] Los teléfonos inteligentes tienen pequeños acelerómetros que pueden detectar señales que indican que podría estar ocurriendo un terremoto. Si el teléfono detecta algo que cree que puede ser un terremoto,

envía una señal con la ubicación aproximada a los servidores de detección. El servidor combina información de muchos teléfonos para determinar si está ocurriendo un terremoto. Los usuarios recibirán alertas automáticas de alerta temprana. Además, al realizar una búsqueda de Google se muestra una vista rápida y precisa del área afectada con recursos útiles sobre qué hacer después de un terremoto. En agosto del 2020, Android en asociación con el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y la Oficina de Servicios de Emergencia del Gobernador de California (Cal OES) para enviar alertas de terremotos, con tecnología ShakeAlert®, directamente a los dispositivos Android en California. Después de unos meses, la expansión de este sistema se dio a más regiones y países. [8]

**Alerta Temprana de Terremotos a dispositivos móviles:** MyShake es una aplicación móvil que proporcionar alertas de terremotos, mapas y consejos de seguridad, este proyecto de ciencia ciudadana reúne a los usuarios para construir una red mundial de alerta temprana de terremoto. Myshake es desarrollado por el Laboratorio de Sismología de UC Berkeley, patrocinada por la Oficina de Servicios de Emergencia del Gobernador de California, actualmeme está disponible públicamente en California, Oregón y Washington. Utiliza el aprendizaje automático para decidir qué movimiento es producido por terremotos y cuál no. El algoritmo que usa la aplicación para analizar los datos de aceleración y distinguir los terremotos de otras vibraciones se publica hoy en un informe en la revista Science Advances [9]. Además, envía alertas impulsadas por ShakeAlert en California, Oregón y Washington para sismos de magnitud 4.5 o mayores a los usuarios en las áreas de temblor leve a severo. [9] El sistema utiliza sensores de movimiento del suelo para detectar terremotos que ya han comenzado y estima su tamaño, ubicación e impacto. Esto se da en asociación con USGS ShakeAlert™ y CalOES. Myshake es un Operador Licenciado para el proyecto USGS ShakeAlert® [10]. Es importante considerar estas funcionalidades en la aplicación móvil Sismos Perú con la que cuenta el Perú. Esta aplicación actualmente recibe notificaciones de eventos sísmicos reportados en tiempo real por el Instituto Geofísico del Perú (IGP). [10] Además de contar con notificación del último evento sísmico, mostrar en mapas la magnitud y otros detalles del sismo.

**Sistema de Alerta de la Ciudad utilizando Sirenas:** en el Perú, como parte de la implementación del SASPe, corresponde a INDECI instalar 114 sirenas por distrito, sin embargo, según el Ing. Miguel Yamasaki esto no sería suficiente para alertar a toda la población [6]. Se encontró un sistema con sirenas de alerta temprana de la ciudad, propuesto por la empresa Telegrafía. [11] Este sistema de alerta controlar y monitorizar sirenas y canales de comunicación con la aplicación de software desde el centro de control principal tras la declaración del estado de emergencia. Incluye principalmente la notificación y citación automatizada de los socorristas (equipos de rescate, unidades de gestión de emergencias, organizaciones de bomberos y salud, etc.) para que puedan presentarse al servicio en respuesta a una citación e informar a las instituciones pertinentes de acuerdo con los planes de emergencia. En unos segundos, el sistema es capaz de activar cualquier sirena o grupo de sirenas. El sistema está completamente respaldado por baterías y es completamente operativo incluso después de un corte de energía. [11]

**Validación De Las Soluciones Tecnológicas**

Una vez propuestas las soluciones tecnológicas se validó. Para ello, se buscó la ayuda de dos expertos en investigación tecnológica y gestión de desastres naturales para realizar un breve relevamiento de su opinión sobre las soluciones propuestas. El primer experto es ingeniero electrónico, con experiencia en las áreas de Telecomunicaciones, IoT, desarrollo

de software e investigación científica, se desempeña como Consultor para la Dirección Científica del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el segundo experto es ingeniera geofísica con maestría en ingeniería geotécnica y una especialización en gestión de riesgos de desastres, se desempeña como Ingeniero Geofísico Geólogo e investigador en el IGP, además, tiene experiencia en estudios geofísicos para proyectos de infraestructura, minería y gestión de riesgos.

Las preguntas formuladas en las encuestas se centraron en factores técnicos deseables, como confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, precisión y requisitos de usabilidad. Además, para los atributos de creación que se encuentran en los Principios para el Desarrollo Digital, se tuvieron en cuenta: Comprender el ecosistema existente, diseñar para la escala, construir para la sostenibilidad, adoptar un enfoque basado en datos, reutilizar y mejorar la privacidad y seguridad de los datos. Se hicieron preguntas a los expertos sobre las soluciones propuestas. Las preguntas utilizadas fueron las siguientes:

Tabla 2: Preguntas de viabilidad técnica de las soluciones tecnológicas

#	Preguntas de viabilidad técnica de las soluciones tecnológicas
1	En una escala del 1 al 5, ¿Considera que la solución tecnológica se alinea con las políticas tecnológicas, legales y regulatorias existentes en Lima Metropolitana y Callao (Perú)?
2	En una escala del 1 al 5, ¿Considera que la solución tecnológica después de una prueba piloto, se pueda escalar su cobertura a más distritos de Lima Metropolitana y Callao?
3	En una escala del 1 al 5, ¿Considera que la solución tecnológica después de una prueba piloto, Lima Metropolitana y Callao puede mantener la iniciativa?
4	En una escala del 1 al 5, ¿Considera que la solución tecnológica ayudará a recopilar, analizar y/o comunicar los datos obtenidos para la toma de decisiones gestión de desastres en Lima Metropolitana y Callao?
5	En una escala del 1 al 5, ¿Considera que la solución tecnológica mantiene la privacidad del usuario, garantiza la seguridad de los datos y una implementación ética?

Estas preguntas se basan en las características Comprender el ecosistema existente, diseño a escala, construir para la sostenibilidad, sea impulsado por datos, Reutilizar y mejorar y dirección de privacidad de datos y seguridad.

Con la realización de esta encuesta se logró el objetivo que se había marcado para el proyecto gracias a la puntuación obtenida por cada solución tecnológica y con ello se concluyó la validación (Ver Tabla 3).

Tabla 3: Resultados de la entrevista

Soluciones tecnológicas	Alertas de terremotos a dispositivos Android	Alerta temprana de terremotos a dispositivos móviles	Sistema de alerta de la ciudad utilizando sirenas
Q1	4	3.5	4

Q2	4.5	4.5	4
Q3	4.5	4.5	3
Q4	4.5	3.5	4
Q5	3	3.5	4
Puntuación media	4.1	3.9	3.8
Puntuación esperada	3.75	3.75	3.75

Se utilizó el promedio de las puntuaciones obtenidas por los expertos para identificar si los objetivos se cumplieron cuando se propusieron las soluciones tecnológicas.

#### 4. CONCLUSIONES

Recapitulando lo mencionado en este artículo, podemos concluir los siguientes puntos:

Enviar alertas impulsadas para sismos de magnitud 4.5 o mayores a los usuarios en las áreas de temblor leve a severo como la hace la aplicación MyShake, puede prevenir el daño y la pérdida de vidas humanas, convirtiéndose en una variable clave para la supervivencia de los ciudadanos Limeños.

Los sistemas de alerta temprana adquieren un mayor grado de fiabilidad y notoriedad a medida que aumenta su relación con otros sistemas basados en IoT, esto es debido a la gran masa de información que se obtiene de las mismas. La implementación y el fomento de tecnologías en la población como teléfonos inteligentes, 5G, sistemas GPS, tecnologías emergentes, entre otros, permitirá tener un espectro claro de los peligros que puede afrontar la ciudadanía ante la ocurrencia de un evento catastrófico natural.

Se han propuesto soluciones tecnológicas para atender la difusión y alerta pública en caso de desastres naturales como terremotos y tsunamis en la ciudad de Lima Metropolitana y Callao. La propuesta de una red de sensores sismómetros y acelerómetros en teléfonos Android permitirá detectar si está ocurriendo un terremoto, indicando la ubicación aproximada donde se está generando dicho evento. La aplicación MyShake utiliza el aprendizaje automático para decidir qué movimiento es producido por terremotos y cuál no. El sistema de alerta con sirenas que permite controlar y monitorizar sirenas y canales de comunicación, además de apoyar los procesos en curso durante la declaración del estado de emergencia.

#### 5. REFERENCIAS

[1] Editora Perú, «El Peruano,» 17 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://elperuano.pe/noticia/113626-inei-lima-tiene-casi-10-millones-de-habitantes>. [Último acceso: 30 Mayo 2021].

[2] Municipalidad Metropolitana de Lima, «PLAN DE OPERACIONES DE EMERGENCIA METROPOLITANO (POE) 2015 - 2019,» *Municipalidad Metropolitana de Lima*, 2015.

[3] J. W. Talley, «Disaster management in the digital age,» *IBM Journal of Research and Development*, pp. 1:1-1:5, 2020.

[4] D. Z. S. S. H. a. D. D. S. A. Shah, «The Rising Role of Big Data Analytics and IoT in Disaster Management:

Recent Advances, Taxonomy and Prospects,» *IEEE Access*, pp. vol. 7, pp. 54595-54614, 2019.

[5] E. P. a. C. U. A. Barrientos, «Technological solutions for the detection and warning of natural disasters caused by the “El Niño” Phenomenon,» *IEEE XXVI International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON)*, pp. 1-4, 2019.

[6] Unidad Funcional de Comunicaciones IGP, «gob.pe,» 16 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/212238-igp-implementa-sistema-de-alerta-sismica-que-reforzara-la-cultura-de-prevencion-en-el-pais>.

[7] M. Stogaitis, «Blog Google,» 11 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://blog.google/products/android/earthquake-detection-and-alerts/>.

[8] B. Spooner, «Blog Google,» 28 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://blog.google/products/android/introducing-android-earthquake-alerts-outside-us/>.

[9] Berkeley Seismology Lab, «myshake,» 30 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://myshake.berkeley.edu/>.

[10] City of Los Angeles, «Los Angeles - Earthquake,» Recent LA Area Earthquakes, [En línea]. Available: <https://earthquake.lacity.org/shakealertla>. [Último acceso: 02 09 2021].

[11] Instituto Geofísico del Perú, «Google Play,» 30 Mayo 2021. [En línea]. Available: [https://play.google.com/store/apps/details?id=sistemasfir.igp.org.sismosperu&hl=es\\_PE&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=sistemasfir.igp.org.sismosperu&hl=es_PE&gl=US).

[12] telegrafia, «telegrafia,» 30 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.telegrafia.eu/en/solution/mass-public-warning/city-warning-systems/>.