

## Hacia un semáforo de riesgo personal para sismos en la república mexicana

Rodrigo Vázquez Espino<sup>1</sup>, Wulfrano Arturo Luna-Ramírez<sup>1</sup>,  
Anasol Peña-Ríos<sup>2</sup>, Miguel Capllonch Juan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Cuajimalpa,  
División de Ciencias de la Comunicación y Diseño,  
Departamento de Tecnologías de la Información,  
México

<sup>2</sup> University of Essex,  
School of Computer Science and Electronic Engineering,  
Reino Unido

<sup>3</sup> Investigador independiente

mcjrcmc@gmail.com, acpena@essex.ac.uk,  
{2163030986, wluna}@cua.uam.mx

**Resumen.** Los desastres naturales son fenómenos meteorológicos que se producen en todo el mundo como resultado de la actividad de los elementos y la evolución del ambiente. Estos son catastróficos para todos los afectados, pero no todos los experimentan de igual manera. El semáforo de riesgo propuesto en este documento permite calcular, el índice de riesgo que presenta una persona ante un desastre natural a través de una aplicación web. Este prototipo considera como caso de estudio los eventos sísmicos. Este cálculo personalizado considera variables fisiológicas, sensoriales y de ubicación del usuario junto con los datos proporcionados por los sistemas oficiales de monitoreo ambiental. De esta forma, el semáforo de riesgos permite informar de manera visual y personalizada el riesgo que presenta el usuario, mediante tres colores diferenciados.

**Palabras clave:** Gestión de desastres naturales, aplicaciones web, integración de sistemas, sistemas de alerta temprana y gestión de riesgos.

### Towards a Personal Risk Traffic Light System for Earthquakes in Mexico

**Abstract.** Natural disasters are meteorological phenomena that occur throughout the world as a result of the activity of the elements and the evolution of the environment. These are catastrophic for everyone affected but not everyone experiences them in the same way. The personal risk traffic light system proposed in this paper allows calculation of a person's risk index over a natural disaster through a web application. This prototype focuses on seismic events as a use case. The personalized calculation considers users' physiological, sensorial and location variables alongside data provided by official environmental monitoring systems. In this way, the risk traffic light reports the user's risk in a visual and personalized manner through three different colors.

**Keywords:** Natural disaster management, web applications, systems integration, early warning and disaster risk information systems.

## 1. Introducción

Históricamente México ha sido susceptible a una extensa cantidad de desastres naturales debido a que está situado entre cinco placas tectónicas, doce volcanes activos, dos océanos y ocurren abundantes lluvias durante todo el año, por lo tanto, es común que se presenten eventos como sismos, inundaciones, huracanes, deslaves, erupciones y tornados [1].

Para ilustrar lo anterior, cabe recordar que el 19 de septiembre de 2017 un sismo de magnitud 7.1 ocasionó la muerte de aproximadamente 369 personas y el desplome de 52 edificios, tan solo en la Ciudad de México. En el mismo día, pero 32 años antes, un terremoto de magnitud 8.1 ocasionó aproximadamente 40,000 pérdidas humanas [2]. La ciencia y tecnología no pueden impedir que ocurran estos sucesos naturales, pero aprovechando los datos que proporcionan los organismos de monitoreo oficiales de desastres naturales y climatológicos, se puede generar información valiosa para la seguridad de quien la utilice a través de un adecuado tratamiento de esta.

En la actualidad existen sistemas de alerta ante desastres naturales [3, 4], pero es difícil conocer con certeza qué tan vulnerable es cada usuario ante diversos eventos, ya que la finalidad de los sistemas de alerta es informar al mayor número de usuarios posibles. Esto conlleva a una falta de personalización de información. Si bien todos estamos expuestos a algunos de los desastres expresados con anterioridad, no significa que compartamos el mismo índice de riesgo ante dichos eventos.

Para poder generar información personalizada y que aporte un valor adicional a la emitida por los sistemas de alerta oficiales, se requiere realizar consultas, colectas análisis y almacenamiento de información oficial, información proveniente de fuentes de monitoreo ambiental y datos personales de las personas que utilicen este semáforo. Lo anterior implica mantener, adaptar o crear un formato para que los datos obtenidos permanezcan organizados y estructurados y así facilitar su almacenamiento y su análisis.

El proyecto aquí presentado, tiene el fin de ayudar a las personas a conocer su vulnerabilidad ante los peligros naturales a que están expuestos. Este prototipo calcula el índice de riesgo que presentan los desastres naturales a manera de simulación (con datos precargados de usuarios).

Se enfoca en el caso de los sismos, y toma en cuenta datos históricos de estos eventos, así como una serie de categorías para representar individuos con diferentes capacidades físicas y sensoriales.

## 2. Trabajos relacionados

Los semáforos de riesgo son instrumentos de comunicación y alertamiento que permiten definir la gravedad del suceso al que se encuentran expuestas las personas ante ciertos acontecimientos. Análogamente a un semáforo de tránsito, generalmente los niveles presentados por los semáforos de riesgo están divididos en 3 partes, cada una representada por un color que se asocia a su grado de riesgo.

Por ejemplo, el semáforo de alerta volcánica del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) [5], divide el riesgo en tres colores cada uno con un número de fases, las cuales están ligadas a su actividad y al daño que puede ocasionar, cada una

**Tabla 1.** Comparativa entre Sistemas de Alerta para Monitoreo de Desastres y el Semáforo de Riesgo Personal (SRP) propuesto.

	PAGER	ENS	ShakeCast	Cenapred	SSN	SGIRPC	SRP
Alerta temprana ante la detección de un desastre	✓	✓			✓		
Puede ser consultado en la página web	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cuenta con una aplicación móvil		✓		✓			✓
Considera la ubicación geográfica del usuario	✓	✓	✓	✓			✓
Considera limitaciones motrices del usuario							✓
Considera el número de pisos del inmueble donde se encuentra el usuario							✓

de estas fases requieren de diferentes acciones que deben de atender los habitantes de la zona volcánica. Las fases del semáforo en orden ascendente son verde, amarillo y rojo. El color verde denota la ausencia de actividad o presencia esporádica y leve de fumarolas y sismos, sin necesidad de evacuar.

El color amarillo representa una mayor presencia de actividad volcánica, sismos, exhalaciones de ceniza en dónde existe la posibilidad de evacuación así que se incita a la población a prepararse para salir de sus asentamientos. Finalmente, el color rojo representa la actividad altamente peligrosa del volcán y la evacuación para salvaguardar la vida de los habitantes.

Otro de los sistemas de alerta más importantes en México es el centro de monitoreo del Servicio Sismológico Nacional (SSN) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el cual provee de información histórica y de monitoreo en tiempo real de una red de 61 estaciones de monitoreo sísmico esparcidas en la República Mexicana.

El SSN crea reportes preliminares en caso de sismos y alerta al Centro de Comando, Control, Cómputo, Comunicaciones y Contacto Ciudadano de la Ciudad de México (C5) en caso de detectar un sismo peligroso con el fin de emitir la alerta sísmica en sus altavoces [4]. El SSN también cuenta con un canal RSS (Sindicación Realmente Simple por sus siglas en inglés) en el cual se encuentran los últimos 15 sismos detectados. Los dos ejemplos mencionados pertenecen a los sistemas de alerta nacional cuyo propósito es notificar a la mayor cantidad de personas ante un desastre.

A nivel personal existen sistemas privados que ofrecen un mayor nivel de personalización como SkyAlert, y SASSLA para los sismos, los cuales cuentan con

redes de monitoreo propias y son utilizados por medio de aplicaciones para teléfonos móviles.

Esto les permite utilizar la ubicación GPS (Sistema de Posicionamiento Global por sus siglas en inglés) del usuario para poder calcular el riesgo y el arribo aproximado del evento. Sin embargo, estos sistemas carecen de una orientación sobre las condiciones fisiológicas y sensoriales de sus usuarios, lo que las hace tener un carácter más generalista que no se ajusta a las necesidades particulares de una persona en una situación determinada.

Además, tales sistemas se centran en propagar las alertas en caso de sismos, y también carecen de un indicador tipo semáforo de riesgo, como el que aquí se presenta. Es importante señalar que hasta donde los autores conocen, no existe un semáforo de riesgo personal en el caso de sismos operando en la República Mexicana, ni a nivel internacional, pues si bien existen sistemas que miden el impacto de los sismos en poblaciones o localidades determinadas, estos esfuerzos parecen tener un mayor énfasis la diseminación de la alerta y las estimaciones de riesgos de índole económica y material a nivel de colectividades (incluso post-evento), dejando de lado al individuo y las situaciones personales de vulnerabilidad en sus valoraciones.

Ejemplos notorios son: el Sistema de Evaluación Rápida para Responder ante de Sismos Globales (PAGER por sus siglas en inglés) [6] que usa internamente un sistema de graduación de cuatro colores (verde, amarillo, anaranjado, y rojo); el Sistema de Notificación de Sismos (ENS por sus siglas en inglés), sistema de envío de alertas personalizadas sobre sismos que considera ciertas disposiciones geográficas definidas por el usuario [6, 7]; o ShakeCast [6, 8], un sistema para evaluación de situaciones post-evento que contrasta las condiciones de los inmuebles donde está el usuario, enfocado en la mitigación y respuesta tras los sismos.

La Tabla 1 muestra un comparativo entre los sistemas de alerta para monitoreo de desastres mencionados y la propuesta que aquí se presenta, resaltando las características de personalización indicadas anteriormente.

### 3. Modelado del semáforo

El semáforo opera con base en el cálculo del índice de riesgo personal (IR) de un determinado usuario ante un desastre natural. El IR se calcula a partir de dos componentes: el peligro detectado P y el grado de vulnerabilidad del usuario V.

En este trabajo se han desarrollado dos modelos de semáforo: 1) un modelo lineal, en el que P y V son ponderados por un factor de normalización y 2) un modelo polinomial.

#### 3.1. Cálculo lineal

Inicialmente se desarrolló un modelo lineal para el semáforo. De manera simple, esta relación se muestra en la Eq. (1):

$$IR = (P + V) / FN, \quad (1)$$

donde:

IR = Índice de riesgo.

P = Peligro.

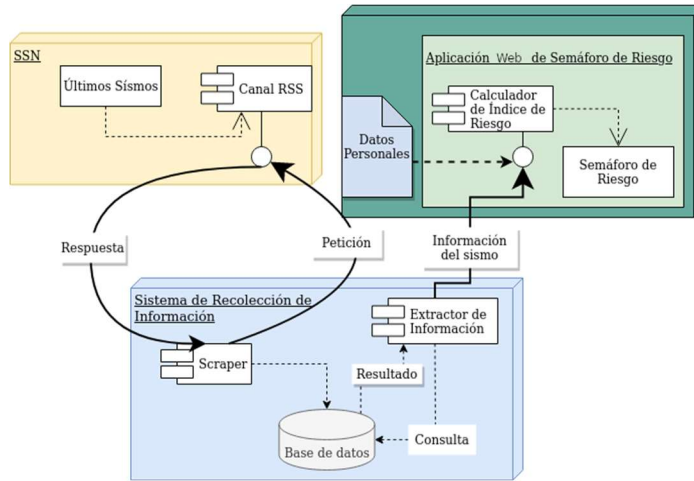


Fig. 1. Módulos de Procesamiento de Información.

```

--<rss version="2.0">
--<channel>
<title>Últimos sismos registrados por el SSN</title>
<link>http://www.ssa.unam.mx</link>
<description>Reporte de los últimos sismos en México</description>
--<item>
--<title>
3.6, 49 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
</title>
--<description>
<p>Fecha:2020-10-29 16:54:39 (Hora de México)<br/>Lat/Lon: 16.03/-98.37<br/>
/>Profundidad: 5.0 km </p>
</description>
--<link>
http://www2.ssn.unam.mx:8080/jsp/localizacion-de-sismo.jsp?latitud=16.03&longitud=-98.37&
prf=5.0 km&ma=3.6&fecha=2020-10-29&hara=16:54:39&loc=49 km al SUROESTE de
PINOTEPA NACIONAL, OAX &evento=1
</link>
<geo:lat>16.03</geo:lat>
<geo:long>-98.37</geo:long>
</item>
--<item>
--<title>
3.5, 57 km al SUROESTE de PINOTEPA NACIONAL, OAX
    
```

Fig. 2. Ejemplo de Datos de Sismo (SSN).

V = Vulnerabilidad del individuo.

FN = Factor de Normalización.

El factor de normalización tiene como propósito el equilibrar el peso del peligro y la vulnerabilidad, para este prototipo se considera que ambas variables tienen igual peso, por lo que este valor asume como 2.

### 3.2. Cálculo polinomial

El modelo lineal, que fue planteado como primera aproximación, presenta dos inconvenientes:

1. No contempla que incluso para valores muy altos de peligro, el índice de riesgo de una persona con vulnerabilidad mínima no es suficiente para generar una alerta y viceversa, personas con alta vulnerabilidad no serían alertadas en presencia de un peligro mínimo.

**Tabla 2.** Relación entre magnitud (n) y peligro del sismo (escala Mercalli).

Magnitud	Peligro
$n < 4$	1
$4 \leq n < 5$	2
$5 \leq n < 6$	4
$6 \leq n < 6.5$	5
$6.5 \leq n < 7$	6
$7 \leq n < 7.5$	7
$7.5 \leq n < 8$	8
$8 \leq n$	10

**Tabla 3.** Vectores de características de vulnerabilidad.

V1	V2
V1 = [Mag, Slat, Slong]	V2 = [dfis, dsen, u, Plat, Plong]
<p>Donde:</p> <p>Mag = Magnitud del Sismo</p> <p>Slat = Latitud del sismo</p> <p>Slong = Longitud del sismo</p>	<p>Donde:</p> <p>dfis = Discapacidades Físicas</p> <p>dsen = Discapacidades Sensoriales</p> <p>u = Ubicación de la persona en relación con el inmueble</p> <p>Plat = Latitud de la persona</p> <p>Plong = Longitud de la persona</p>

- Si se intenta solventar el problema anterior usando el modelo lineal cambiando FN, el modelo incurre en el error de generar índices de riesgo indebidamente bajos para personas en situaciones de suficiente peligro y vulnerabilidad.

Para resolver estos inconvenientes, se introdujo un modelo polinomial, según se define en la Eq. (2):

$$IR = a_0 + a_1P + a_2V + a_3P^2 + a_4V^2 + a_5PV, \tag{2}$$

donde:

$a_i$  son coeficientes obtenidos por regresión contra un conjunto  $(P, V, IR)$  de casos hipotéticos o teóricos. Para el ajuste de estos parámetros en este trabajo, se escogieron solamente cuatro tuplas de valores  $(P, V, IR)$  de manera que estos reflejaran los casos ya mencionados del modelo lineal:

$$\begin{aligned}
 p_1 &= (P_{min} + 0.5, V_{max}, 5), \\
 p_2 &= (P_{max}, V_{min} + 0.5, 5), \\
 p_3 &= (P_{min} + 0.35P_{ptp}, V_{min} + 0.35V_{ptp}, 5), \\
 p_4 &= (P_{min} + 0.6P_{ptp}, V_{min} + 0.6V_{ptp}, 7),
 \end{aligned}$$

donde:

$$P_{min} = 1,$$

$$P_{max} = 10,$$

$$V_{min} = 1.5,$$

$$V_{max} = 10,$$

**Tabla 4.** Ponderación de distancia (d) entre epicentro del sismo y la persona.

Radio de distancia entre epicentro y persona (km)	Valor
$d < 80$	2.5
$80 \leq d < 140$	2
$140 \leq d < 200$	1.5
$200 \leq d < 300$	1
$300 \leq d < 400$	0.5
$d \geq 400$	0

**Tabla 5.** Ponderación de la ubicación (u) de la persona al momento del sismo.

Ubicación	Valor
Del séptimo piso en adelante de un inmueble	2.5
Del cuarto al sexto piso de un inmueble	2
En el tercer o segundo piso de un inmueble	1.5
Planta baja de un inmueble	1
Zona despejada	0.5

$$P_{ptp} = P_{max} - P_{min}.$$

$$V_{ptp} = V_{max} - V_{min}.$$

Los valores obtenidos para los coeficientes usando estos puntos son:

$$(a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5) = (0.23698655, 0.59396298, 0.63429914, -0.02897832, -0.02830087, 0.02829105).$$

### 3.3. Cálculo de la vulnerabilidad

Para calcular V, considerando que el semáforo toma como caso de estudio los eventos sísmicos, se toman en cuenta distintos aspectos de vulnerabilidad del usuario durante tales situaciones. El prototipo de semáforo de riesgo personal propuesto en este artículo se compone de dos módulos para el procesamiento de información (Fig. 1), cada uno de estos módulos se encarga de procesar datos de diferente naturaleza y fuente para poder realizar el cálculo del IR. Los módulos son:

- Sistema de Recolección de Información. Se encarga de consultar los registros más recientes de desastres y fenómenos naturales.
- Aplicación Web de Semáforo de Riesgos. Consulta los datos personales de los usuarios para poder calcular su vulnerabilidad en conjunto con los datos recopilados por el primer módulo, de esta manera el índice de riesgo puede ser calculado y mostrado a través de una página web.

### 3.4. Sistema de recolección de información

El Sistema de Recolección de Información proporciona uno de los insumos para realizar la estimación del color del semáforo de riesgo personal que se le presenta a un

**Tabla 6.** Ponderación de capacidades físicas de la persona (dfis).

Capacidades Físicas	Valor
No puede desplazarse.	2.5
Depende de la ayuda de otras personas para desplazarse	2
Utiliza silla de ruedas o muletas para desplazarse	1.5
Puede moverse con ligeras complicaciones, sin necesidad de ayuda	1
Puede evacuar en caso de emergencia sin ayuda	0.5

**Tabla 7a.** Ponderación de capacidades sensoriales de la persona (dsen).

Capacidades Sensoriales	Valor
No puede escuchar alarmas ni visualizar rutas de evacuación	2.5
Se le dificulta ver y/o escuchar alarmas e indicaciones de evacuación	1.5
Puede escuchar indicaciones y alarmas claramente y observar rutas de evacuación	0.5

**Tabla 8.** Ponderación de colores de semáforo de riesgo.

Índice de Riesgo	Color
$IR \leq 5$	Verde
$5 < IR < 7$	Amarillo
$IR \geq 7$	Rojo

usuario. Para realizar esta estimación, el Sistema debe proporcionar datos del peligro que representa un evento sísmico. De esta forma, se obtienen los datos de los últimos sismos ocurridos en México, cuya información se obtiene del canal RSS que el Servicio Sismológico Nacional pone a disposición en su sitio Web. Esta información se consulta de manera automática y continua, para tener un pequeño acervo de datos actualizados de los últimos 15 sismos reportados.

El acervo conserva el formato usado por el Sismológico Nacional (XML). En la Fig. 2 se muestra un ejemplo de la consulta de los datos de un sismo provenientes del RSS del Sismológico Nacional.

El Sistema de Recolección de Información, implementa un extractor de información (conocido comúnmente como *data scraper*) implementado en el lenguaje Python, que hace uso de las bibliotecas Pandas y Geocoder.

### 3.5. Aplicación Web de semáforo de riesgos

En el prototipo que aquí se presenta, se utilizaron los datos recabados de sismos con diferentes magnitudes y epicentros (Sección 3.1), los cuales se utilizan como datos de entrada para calcular el IR ante un sismo. Los datos personales se simulan tomando como punto de partida algunas de las ciudades más vulnerables ante sismos en México para representar la ubicación de los usuarios [1].

Así mismo, se utilizaron diferentes valores para representar individuos con distintas capacidades físicas y sensoriales (Tablas 6 y 7) para determinar estos valores se consideró la información sobre vulnerabilidad física descrita en [8]. Como ya se indicó, el cálculo del IR implica conocer el peligro P y la vulnerabilidad presentada V.

**Tabla 7b** Caso 1 Semáforo en Verde.

V1	V2	P	V	IR_Lin	Color	IR_Pol	Color
{7.8, 19.51, -104.45}	{0.5, 0.5, 1.0, 19.394068, -99.096056}	5	2.0	3.5	Verde	3.920649	Verde

**Tabla 9.** Caso 2 Semáforo en Amarillo.

V1	V2	P	V	IR_Lin	Color	IR_Pol	Color
{7.8, 19.51, -104.45}	{1.0, 1.5, 1.5, 21.125008, -101.685959}	5	4.5	4.75	Verde	5.400146	Amarillo

**Tabla 10.** Caso 3 Semáforo en Rojo.

V1	V2	P	V	IR_Lin	Color	IR_Pol	Color
{7.8, 19.51, -104.45}	{2.0, 2.5, 2.5, 19.596019, -103.754735}	5	9.5	7.25	Rojo	7.297857	Rojo

Para el cálculo de P se propone una relación entre magnitud y peligro del sismo inspirada en la escala Mercalli [6-8]. Esta relación puede apreciarse en la Tabla 2.

Para el cálculo de V, se crean dos vectores de características que representan tanto los datos obtenidos del sistema de monitoreo sísmico como los datos personales del usuario (Tabla 3). Específicamente:

- V1: representa los valores de magnitud, latitud y longitud asociados a un sismo.
- V2: características fisiológicas y sensoriales, así como la ubicación del usuario al momento del sismo.

El cálculo de V se consideró tomando en cuenta los siguientes factores:

- La distancia (d) entre el usuario (Plat, Plong) y el epicentro del sismo (Slat, Slong), usando la fórmula del semiverseno (Eq. 3).
- Su ubicación (u) dentro de un inmueble.
- Su capacidad para desplazarse (dfis).
- Su capacidad visual y auditiva (dsen).

Estos factores se ponderan de acuerdo con una graduación que estima la vulnerabilidad, y cada uno de ellos se representa como un número entero, lo cual conforma un vector de vulnerabilidades, es decir V. Las ponderaciones se muestran en las Tablas 4, 5, 6 y 7.

La fórmula del semiverseno (Harvesine) calcula la distancia entre dos posiciones considerando la curvatura terrestre. El semiverseno se define en la Eq. 3:

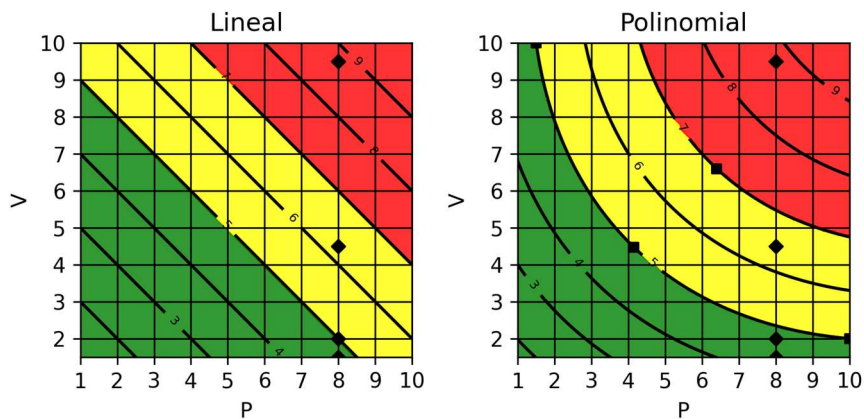
$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat1) \cdot \cos(lat2) \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right),$$

$$c = 2 \cdot \operatorname{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}), \tag{3}$$

$$d = R \cdot c,$$



**Fig. 3a.** Operación del semáforo en un evento.



**Fig. 3b.** Comparación de los resultados de IR para una malla de valores (P, V) entre los modelos lineal (izquierda) y polinomial (derecha) para los casos de estudio (representados por rombos). En la figura del modelo polinomial se muestran los puntos hipotéticos usados para ajustar los parámetros (cuadrados).

donde:

$$\Delta lat = lat2 - lat1,$$

$$\Delta long = long2 - long1,$$

R = el radio de la Tierra (promedio  $r = 6,371$  km).

La Tabla 4 corresponde a la ponderación propuesta para el cálculo del valor de distancia. Se toma como referencia lo expuesto en [10, 11, 12] para estimar que la

máxima vulnerabilidad se presenta a una distancia de menos de 100 km del epicentro, y a medida que la distancia crece la vulnerabilidad decrece.

La Tabla 5 toma como referencia lo expuesto en [13], la ubicación de la persona dentro de un inmueble ya que solo los primeros 2 pisos de un inmueble podrán evacuar durante el sismo, también indica que el tiempo máximo para evacuar un inmueble es de 40 segundos, por lo que la movilidad de la persona es importante.

En la Tabla 6 se proponen los valores asignados al impacto que tiene las capacidades motrices de la persona.

Análogamente, en la Tabla 7a se hace una estimación acerca de sus capacidades sensoriales frente a un evento sísmico.

A partir de las ponderaciones recopiladas en V, y de la estimación de P que representa un sismo, se aplica la Eq. 1, con lo que se obtiene el IR. Lo que prosigue es determinar el color del semáforo a ser presentado al usuario. Dicho color indicaría el riesgo que el evento sísmico representa para un usuario en un momento determinado, conforme sus características personales y las del evento. Para representar los colores del semáforo, se utiliza la ponderación presentada en la Tabla 8.

Para poder apreciar mejor el cálculo del IR, a continuación, se presentan casos de ejemplo de los vectores de información, su IR resultante y su color de semáforo. Estos casos están representados en la Fig. 3b para el semáforo usando los cálculos lineal y polinomial.

**Caso 1.** Sismo de magnitud 6.2, detectado en La Resolana, Jalisco, el individuo se encuentra en la planta baja de un inmueble en Iztacalco en la Ciudad de México, a 561 km de distancia del epicentro. La persona puede moverse libremente y puede ver y escuchar instrucciones de evacuación.

**Caso 2.** Sismo de magnitud 6.2, detectado en La Resolana, Jalisco, el individuo se encuentra en el tercer piso de un edificio en León, Guanajuato, a 340 km de distancia del epicentro. La persona puede moverse con ligeras complicaciones y se le dificulta ver indicaciones de evacuación.

**Caso 3.** Sismo de magnitud 6.2, detectado en La Resolana, Jalisco, el usuario se encuentra en un séptimo piso en Alista, Jalisco, a 73 km de distancia del epicentro. Depende de la ayuda de otras personas para desplazarse, y no puede escuchar instrucciones de evacuación.

El prototipo aquí presentado, muestra el semáforo personal de manera gráfica vía una página web, implementada en el manejador de contenidos Django<sup>1</sup>. La página despliega el semáforo personal para un usuario ante un sismo determinado, así como información sobre el evento: datos del sismo, datos fisiológicos de la persona, y su IR, que determina el color actual del semáforo para un evento.

Un ejemplo del semáforo operando se ilustra en la Fig. 3a, en ella, se puede ver un caso donde el semáforo marca el color verde para una medición particular. Se muestran además los datos asociados al cálculo del IR y el color del semáforo para ese evento (ver las tablas de valores de referencia indicadas):

- Magnitud del sismo detectado en la escala de Mercalli (Tabla 3).
- Datos de la vulnerabilidad del usuario:

<sup>1</sup> Proyecto Django - <https://www.djangoproject.com/>

- Usuario con autonomía suficiente para poder evacuar un edificio en caso de emergencia (Tabla 6).
- Capacidad de escucha de indicaciones y alarmas y visualización de letreros de rutas de evacuación (Tabla 7b).
- El usuario se ubica en una planta baja (Tabla 5).
- El IR calculado.

Además, para una mejor representación de la situación, el semáforo proporciona un mapa del epicentro para ubicar al usuario en el evento sísmico (Tabla 4).

#### 4. Conclusiones y trabajo a futuro

En este artículo se presenta el prototipo de un semáforo de riesgo personal en caso de desastres naturales, que toma como caso de estudio los eventos sísmicos en la República Mexicana, por la importancia que estos tienen para el país. Si bien existen semáforos y sistemas de alerta personalizados, este trabajo se diferencia de ellos en que hace una caracterización más profunda de las condiciones del usuario que aquellas reportadas en la literatura.

Toma como base la determinación del índice de riesgo personal, que considera tanto una estimación del peligro que representa un evento de desastre natural (en este caso sismos), así como las condiciones fisiológicas y sensoriales de un usuario determinado durante tales eventos. De esta forma, se logra una mejor determinación del riesgo personal, a través del índice.

El prototipo toma información de sismos provenientes de medios oficiales (Servicio Sismológico Nacional) e información simulada de usuarios para realizar el cálculo del índice de riesgo personal, mismo que se muestra gráficamente en una página Web junto con información del evento y del cálculo.

El prototipo continúa su desarrollo, y se tienen identificadas las siguientes tareas como trabajo a futuro:

- Refinar el cálculo del riesgo personal. Ahora, el índice de riesgo se calcula mediante dos aproximaciones, una lineal y una polinomial. Hay dos opciones a considerar para continuar con su estudio:
  - Uso de técnicas de Aprendizaje Automático para adecuar el cálculo de los coeficientes polinomiales.
  - La representación de valores de pertenencia a las clases que representan los niveles de riesgo, peligro y vulnerabilidad utilizando lógica difusa.
- Tomar datos de usuarios en tiempo real, relativos a sus características de vulnerabilidad, por lo que se plantea su implementación en dispositivos móviles que recolectan los datos requeridos.
- Evaluación del riesgo personal con datos de usuarios en tiempo real.
- Evaluación de la usabilidad del semáforo con una población de muestra con distintas características.

Finalmente, se planea extender el semáforo de riesgo personal a otras instancias de desastres naturales relevantes para México y sus distintas localidades, tales como inundaciones, huracanes, entre otros.

## Referencias

1. CENAPRED.: Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México. Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana, vol. 1, no. 4 (2014) <http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACIONDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF>
2. Quezada-Reyes, A.: El Sismo de 1985 en cifras. Servicio Sismológico Nacional, [https://web.archive.org/web/20080408054816/http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/Cartel es/sismo85.jsp](https://web.archive.org/web/20080408054816/http://www.ssn.unam.mx/website/jsp/Cartel%2Fes/sismo85.jsp)
3. Luna-Ramirez, W. A., Peña-Ríos, A., Ferreyra, E., Ortiz-Hernandez, G., Jaimez-Gonzalez, C. R.: Hacia un sistema de seguridad y alerta temprana de riesgos basado en agentes cognitivos. Research in Computing Science, Special Issue on “Intelligent Systems and Optimization”, México: Instituto Politécnico Nacional (IPN), vol. 147, no. 8, pp. 135–148 (2018)
4. Cuéllar, A., Espinosa-Aranda, J., Suárez, R., Ibarrola, G., Uribe, A., Rodríguez, F., Islas, R., Rodríguez, G., García, A., Frontana, B.: The mexican seismic alert system (SASMEX): Its alert signals, broadcast results and performance during the M7.4 Punta Maldonado earthquake of march 20th, 2012. In Early warning for geological disasters, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 71–87 (2014) doi: 10.1007/978-3-642-12233-0\_4
5. Centro nacional de prevención de desastres. <https://www.gob.mx/cenapred>
6. Wald, D. J., Jaiswal, K. S., Marano, K. D., Bausch, D.: Earthquake impact scale. Natural Hazards Review, vol. 12, no. 3, (2011) doi: 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000040
7. Wald, L. A., Wald, D. J., Schwarz, S., Presgrave, B., Earle, P. S., Martinez, E., Oppenheimer, D.: The USGS earthquake notification service (ENS): Customizable notifications of earthquakes around the globe. Seismological Research Letters, vol. 71, no. 1, pp. 103–110 (2008) doi: 10.1785/gssrl.79.1.103
8. Wald, D., Lin, K. W., Porter, K., Turner, L.: Shakecast: Automating and improving the use of shakemap for post-earthquake decision-making and response. Earthquake Spectra, vol. 24, no. 2, pp. 533–553 (2008b) doi: 10.1193/1.2923924
9. Sitio Web del Servicio Sismológico Nacional. <http://www.ssn.unam.mx/>
10. Sitio web del servicio SkyAlert. <https://skyalert.mx/>
11. Sitio web del servicio SASSLA. <https://www.sassla.mx/>
12. Renda, E., RoZAS-Garay, M., Moscardini, O.: Manual para la elaboración de mapas de riesgo (1st ed.). Programa naciones unidas para el desarrollo PNUD argentina y ministerio de seguridad de la nación de argentina. (2017) [https://drive.google.com/file/d/0BwHRtG8cxrk\\_bIFjZndlOWg3eDQ/view](https://drive.google.com/file/d/0BwHRtG8cxrk_bIFjZndlOWg3eDQ/view)
13. Servicio Geológico Mexicano. Escalas de los sismos (2017) [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion\\_complementaria/Escalassismos.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/Escalassismos.html)
14. Anexo 5.1.5-a. Bases técnicas para el cálculo de la prima de riesgo y la pérdida máxima probable de los seguros de terremoto de la circular única de seguros y fianzas de 2015. Comisión Nacional de Seguros y Fianzas, Decreto por el que se expide la Ley de Instituciones de Seguros y de Fianzas y se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley sobre el Contrato de Seguro. 4 de abril de 2013, <http://www.cnsf.gob.mx/CUSFELECTRONICA/CUSF/Index> y [http://www.cnsf.gob.mx/CUSFELECTRONICA/CUSF/A\\_5\\_1\\_5\\_A](http://www.cnsf.gob.mx/CUSFELECTRONICA/CUSF/A_5_1_5_A)  
García-Soto, A. D., Pozos-Estrada, A., Hong, H., Gómez-Martínez, R.: Estimación del peligro sísmico debido a sismos interplaca e in slab y sus implicaciones en el diseño sísmico.

*Rodrigo Vázquez Espino, Wulfrano Arturo Luna-Ramírez, et al.*

Revista de Ingeniería Sísmica, vol. 86, pp. 27-54 (2012) [fecha de Consulta 15 de Abril de 2021]. ISSN: 0185-092X. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61824407002>

15. García, D., Singh, S., Herraiz, M., Ordaz, M., Pacheco, J.: Inslab earthquakes of central Mexico: Peak ground-motion parameters and response spectra. Bulletin of The Seismological Society of America - BULL SEISMOL SOC AMER, vol. 95, pp. 2272–2282 (2005) doi: 10.1785/0120050072
16. Manual de protección civil ante casos de emergencia, contingencias y desastres del STCONAPRA. Secretaría de Salud/STCONAPRA (2017) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/252641/Manual\\_de\\_Proteccion\\_Civil\\_STCONAPRA.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/252641/Manual_de_Proteccion_Civil_STCONAPRA.pdf)