



Protegiendo El Salvador Fortaleciendo Nuestra Resiliencia Sísmica

Proyecto FORCE – Pronóstico y Comunicación
de Amenaza y Riesgo por Terremotos

San Salvador, Enero 21 a 24 de 2025



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE





MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE



FORCE

Forecasting and Communicating
Earthquake Risk

Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador

Manuel Alfredo López Menjívar
Universidad de El Salvador



Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

PUNTOS A TRATAR

- Amenaza sísmica.
- Amenaza sísmica en los espectros de diseño y códigos de construcción.
- Evaluación de la Amenaza y el Riesgo Sísmico en la Universidad de El Salvador.
- Elementos que componen el riesgo sísmico.
- Productos que los gobiernos locales y central necesitan.
- Otros usos de los elementos que componen el riesgo sísmico.
- Gestión integral del Riesgo



Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador



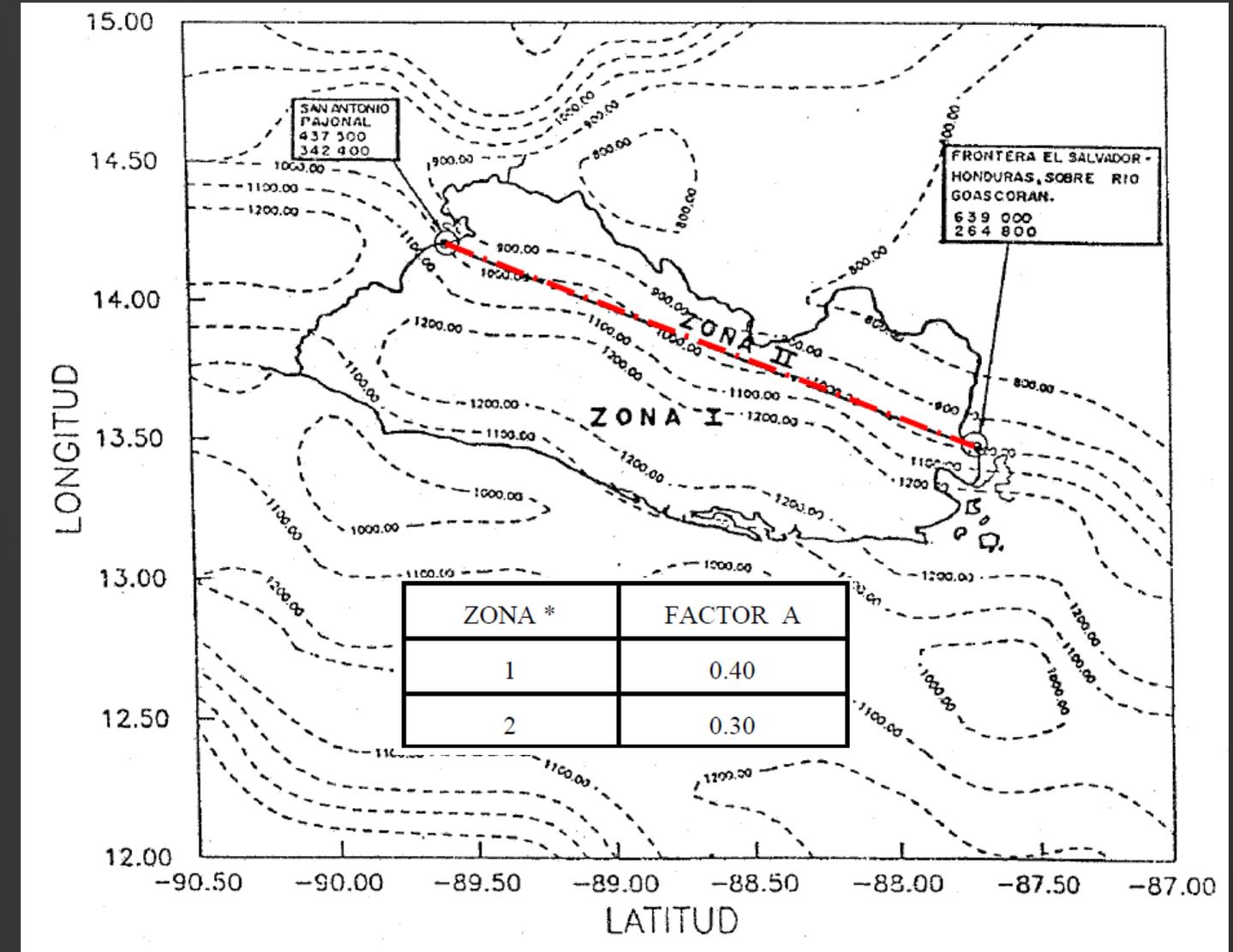


Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador





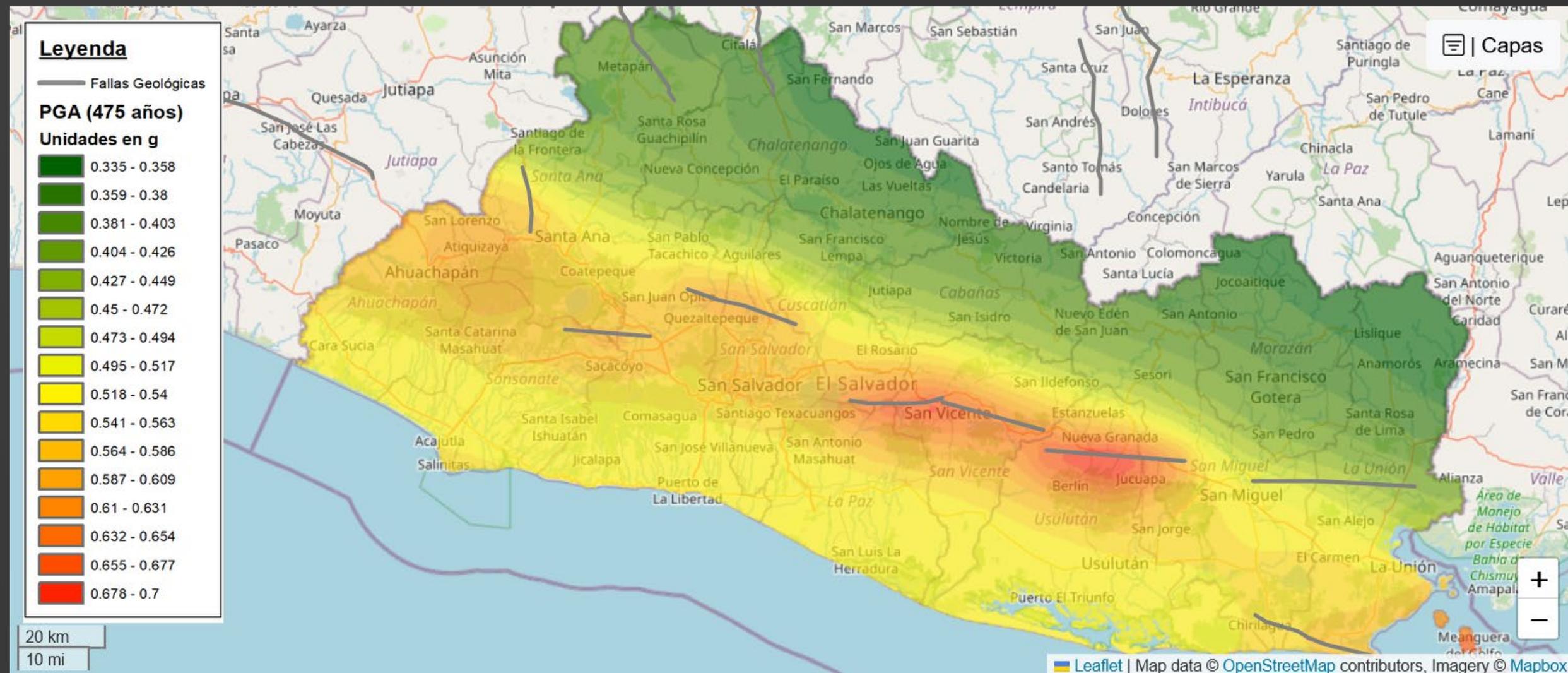
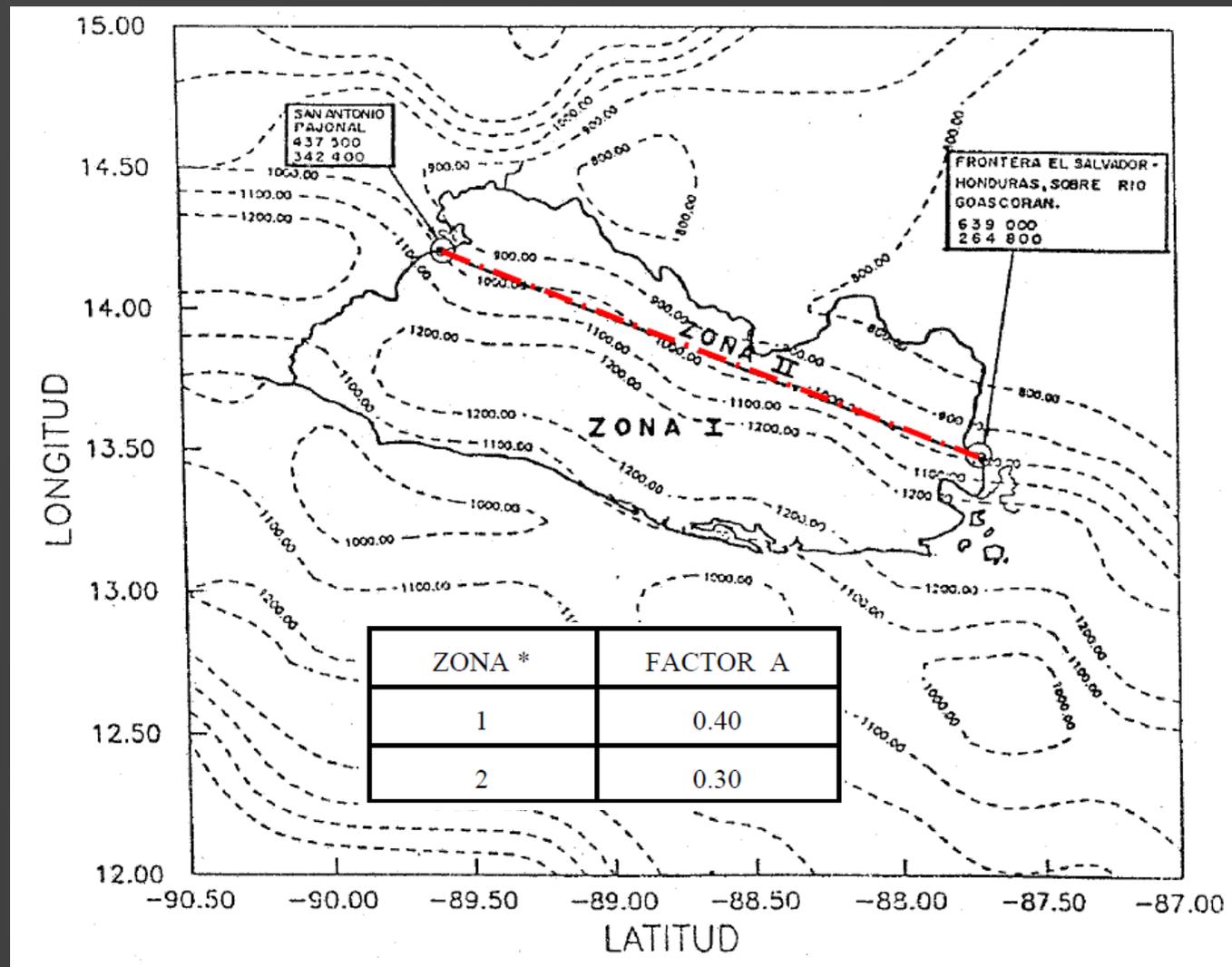
Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador





Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

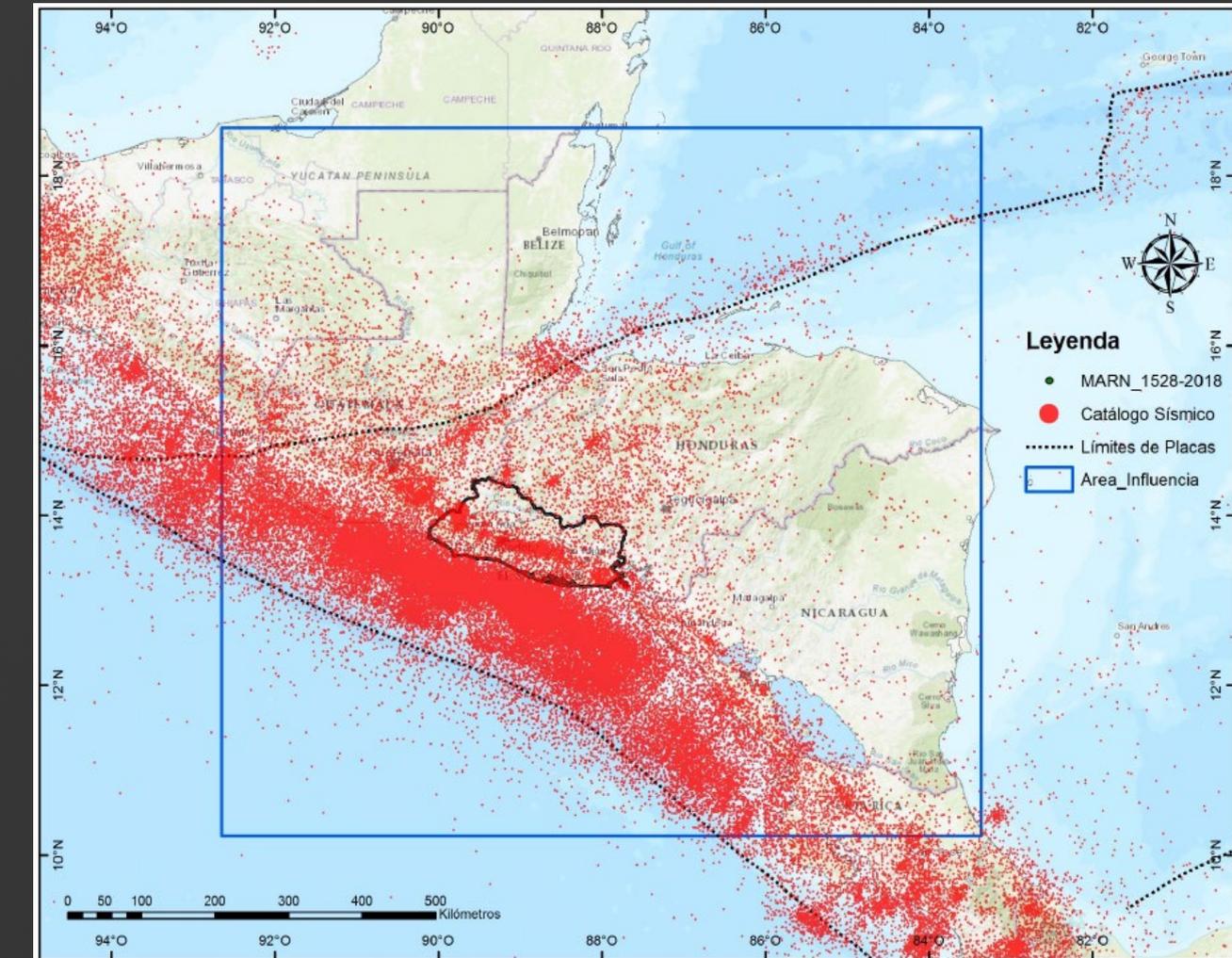
El código sísmico en El Salvador





TEMA 1. Amenaza sísmica.

- ¿Cómo se evalúa la Amenaza sísmica de una región?
 - Definición de las fuentes sísmicas
 - Definición de las características de la recurrencia sísmica para cada fuente
 - Estimación de los efectos de los terremotos haciendo uso de las ecuaciones de predicción de movimientos del terreno (GMPE's).
 - Determinación de la amenaza en el sitio de interés.





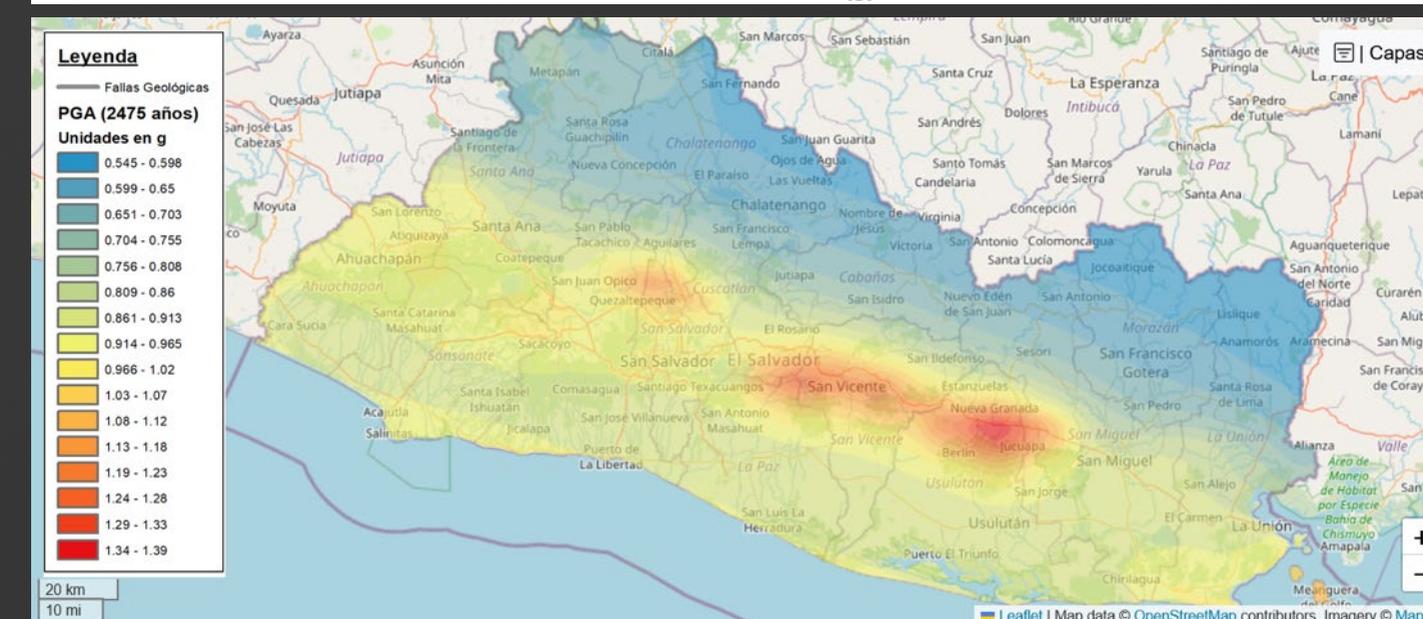
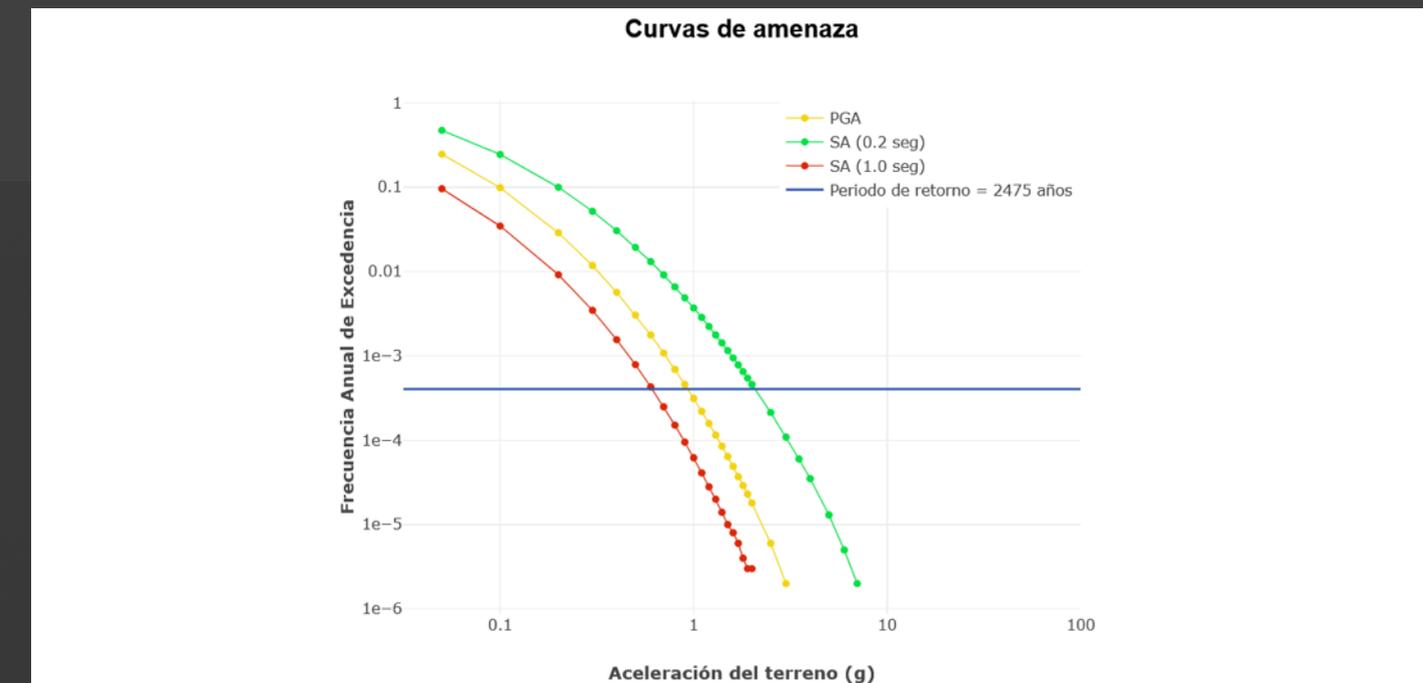
Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

TEMA 1. Amenaza sísmica.

➤ ¿Cuáles son los productos que se obtienen de una evaluación de Amenaza Sísmica?

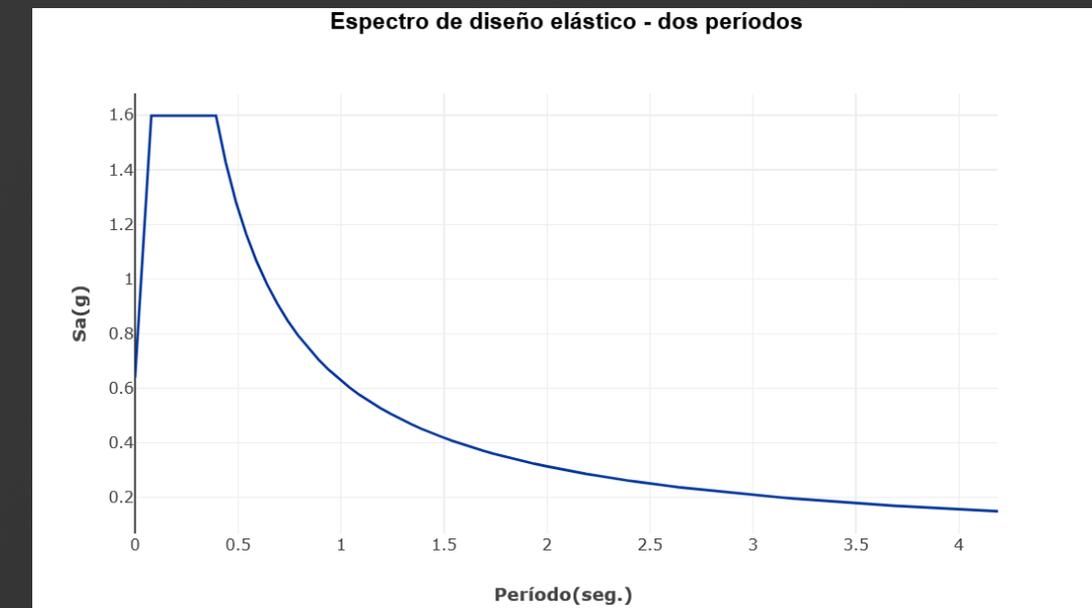
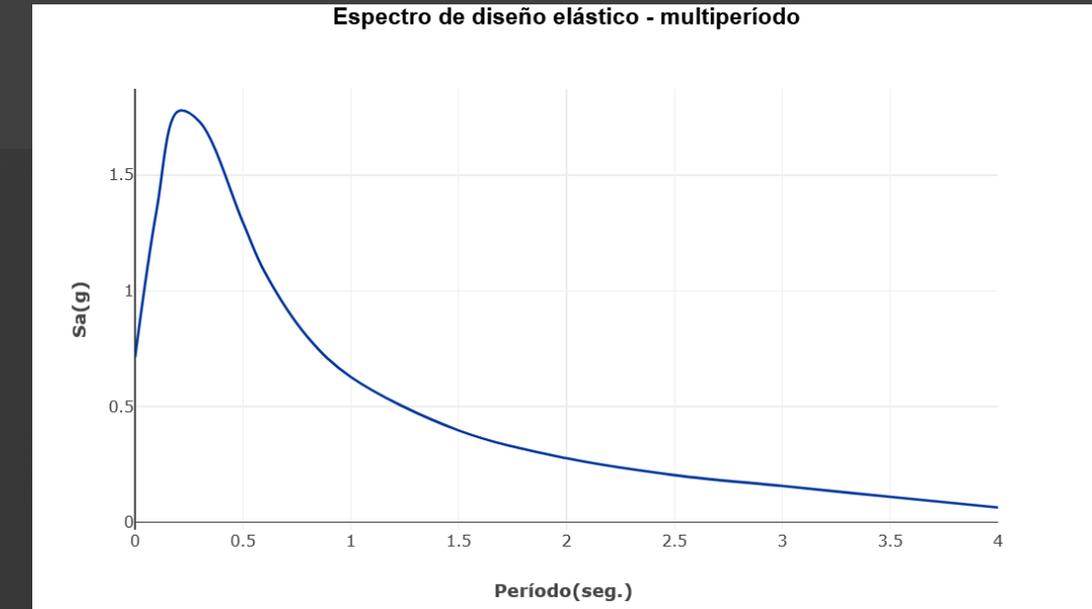
- Curvas de amenaza sísmica
- Mapas de amenaza sísmica
- Mapas de zonificación sísmica
- Espectros de diseño.





TEMA 2. Amenaza sísmica en los espectros de diseño y códigos de construcción.

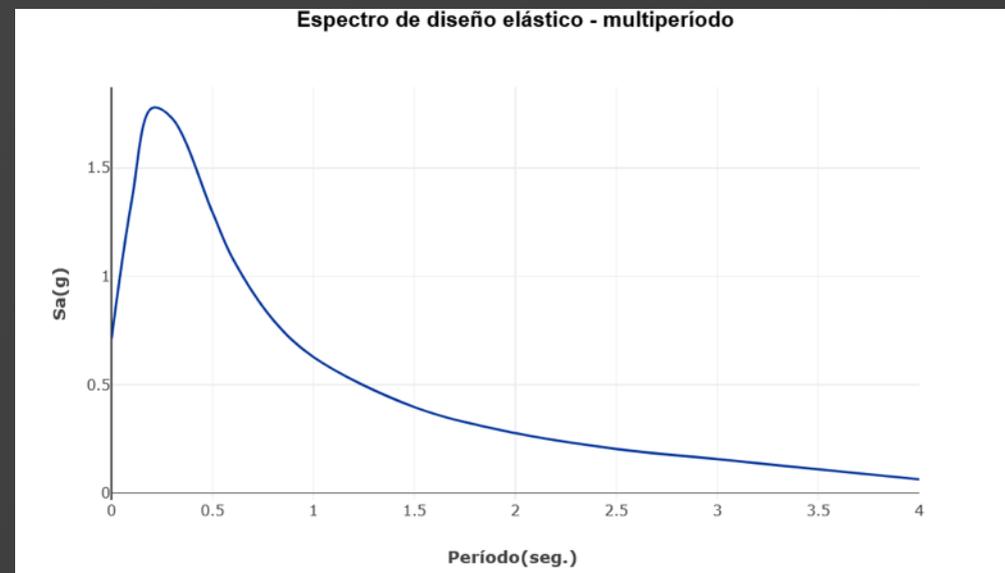
- El Riesgo Sísmico está en función de **Amenaza Sísmica**, la **Exposición**, la **Vulnerabilidad**
- De estos factores el único que puede ser completamente modificable es la **Vulnerabilidad**
- La manera más efectiva para controlar la **Vulnerabilidad** es a través de los **códigos de construcción**





Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador

TEMA 2. Amenaza sísmica en los espectros de diseño y códigos de construcción.



CÓDIGO SALVADOREÑO DE EDIFICACIONES Edición 2024



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS
Y DE TRANSPORTE

CONTENIDO

I. SIGLAS	3
II. TERMINOLOGÍA	4
III. DEFINICIONES.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. CARGAS Y COMBINACIONES DE CARGA	15
3. CRITERIOS DE DISEÑO SISMICO PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS.....	21
4. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO SÍSMICO PARA ESTRUCTURAS DE EDIFICIOS	30
5. PROCEDIMIENTOS DE LA FUERZA LATERAL EQUIVALENTE	37
6. ANÁLISIS ESPECTRAL DE RESPUESTA MODAL.....	40
7. ANÁLISIS NO LINEAL	42



Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

TEMA 2. Amenaza sísmica en los espectros de diseño y códigos de construcción.

➤ PUNTOS IMPORTANTES DEL *Código Salvadoreño de Edificaciones CSE.*

- Filosofía de Diseño, de Esfuerzos Admisibles a Resistencia
- Las demandas sísmicas son específicas para cada punto del país.
- Factores de diseño y estructuración cambian (R , C_d , Ω)

 GOBIERNO DE EL SALVADOR		MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y DE TRANSPORTE
<h1 style="color: blue;">CÓDIGO SALVADOREÑO DE EDIFICACIONES</h1>		
<h2 style="color: blue;">Edición 2024</h2>		
I. SIGLAS II. TERMINOLOGÍA III. DEFINICIONES 1. INTRODUCCIÓN 2. CARGAS 3. CRITERIOS DE DISEÑO 4. REQUISITOS DE DISEÑO DE EDIFICIOS 5. PROCEDIMIENTOS DE LA FUERZA LATERAL EQUIVALENTE 6. ANÁLISIS ESPECTRAL DE RESPUESTA MODAL 7. ANÁLISIS NO LINEAL3458152130374042	



Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

TEMA 3. Evaluación de la Amenaza y el Riesgo Sísmico en el currícula de la Universidad de El Salvador.

- Dentro de la malla curricular de la Maestría en Ingeniería Estructural de la Universidad de El Salvador hay dos asignaturas en donde se imparten los elementos técnicos para la Evaluación de la Amenaza y Riesgo Sísmico.
- **Sismología Ingenieril y Evaluación de la Amenaza Sísmica. EST001.**
- **Fundamentos de Ingeniería Sísmica. EST009**

EST001	Sismología Ingenieril y Evaluación de la Amenaza Sísmica	EST005	Placas y Cascarones	EST009	Fundamentos de Ingeniería Sísmica	EST012	Estructuras de Acero
4		4		5		5	
FT	CI	FT	CI	FP	EST003	FP	CI
EST002	Análisis Numérico	EST006	Dinámica de Suelos	EST010	Estructuras de Concreto Reforzado	EST013	Patología de Estructuras
4		4		5		5	
FT	CI	FT	EST003	FP	CI	FP	CI
EST003	Dinámica de Estructuras	EST007	Estructuras de Mampostería	EST011	Interacción Suelo-Estructura	EST014	Diseño de Puentes
4		5		5		5	
FT	EST001	FP	CI	FP	EST006	FP	CI
EST004	Elementos Finitos	EST008	Concreto Presforzado				
4		5					
FT	CI	FP	CI				



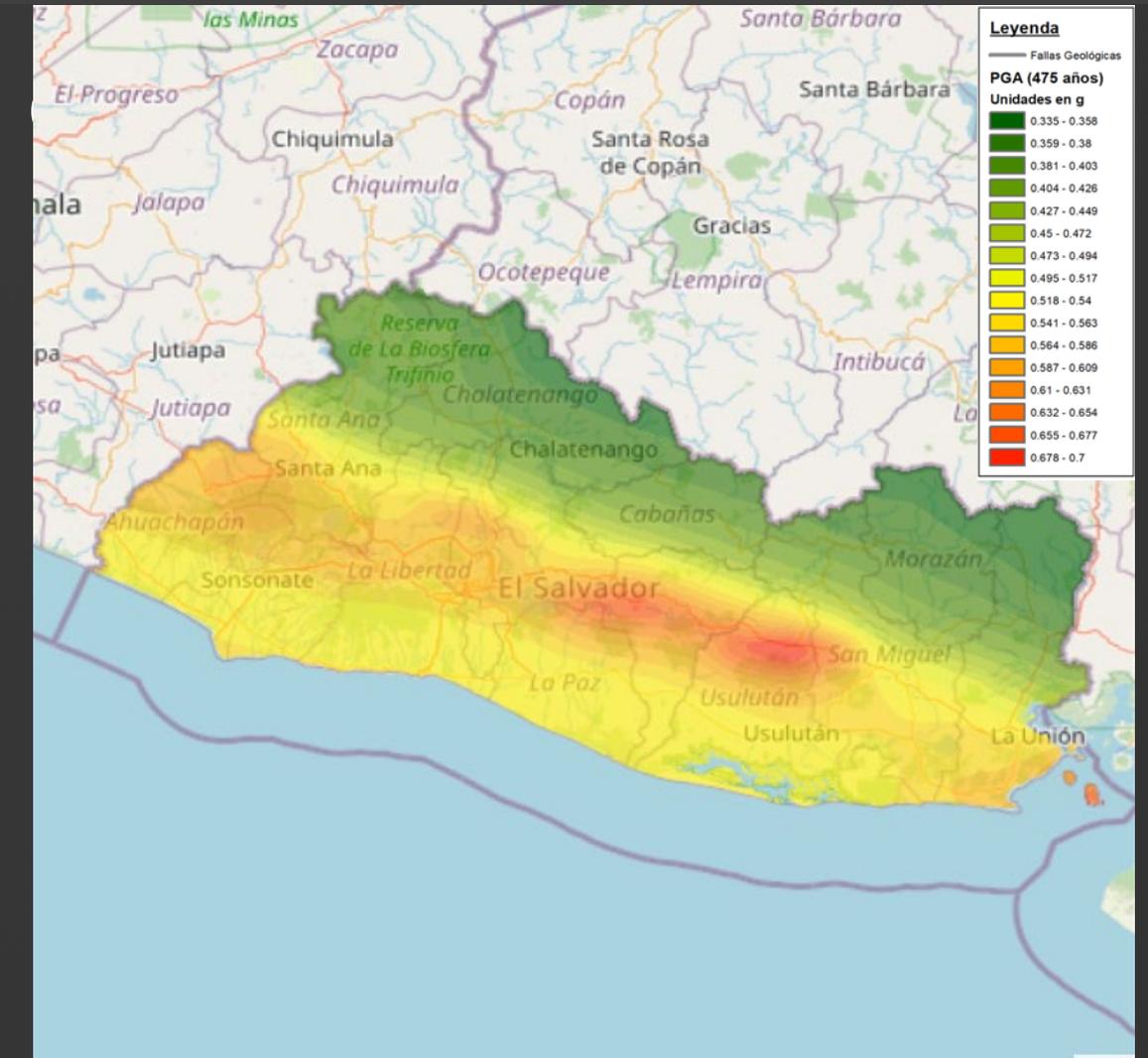


Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

TEMA 3. Evaluación de la Amenaza y el Riesgo Sísmico curricula de la Universidad de El Salvador.

- **Sismología Ingenieril y Evaluación de la Amenaza Sísmica. EST001.**
- Provee los conceptos básicos de la sismología aplicada a la ingeniería y proporciona al estudiante un grupo de herramientas tales como referencias, criterios y metodologías, tales como la de GEM, que pueden ser empleados en el análisis de la amenaza sísmica de un país, región o población y en la evaluación de las acciones sísmicas para el diseño.





Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

TEMA 3. Evaluación de la Amenaza y el Riesgo Sísmico en la currícula de la Universidad de El Salvador.

- Fundamentos de Ingeniería Sísmica. EST009.
- Provee los conocimientos básicos sobre el diseño y análisis no lineal estático y dinámico sismorresistente, así como las premisas y conceptos en los que se apoyo la evaluación del riesgo sísmico.

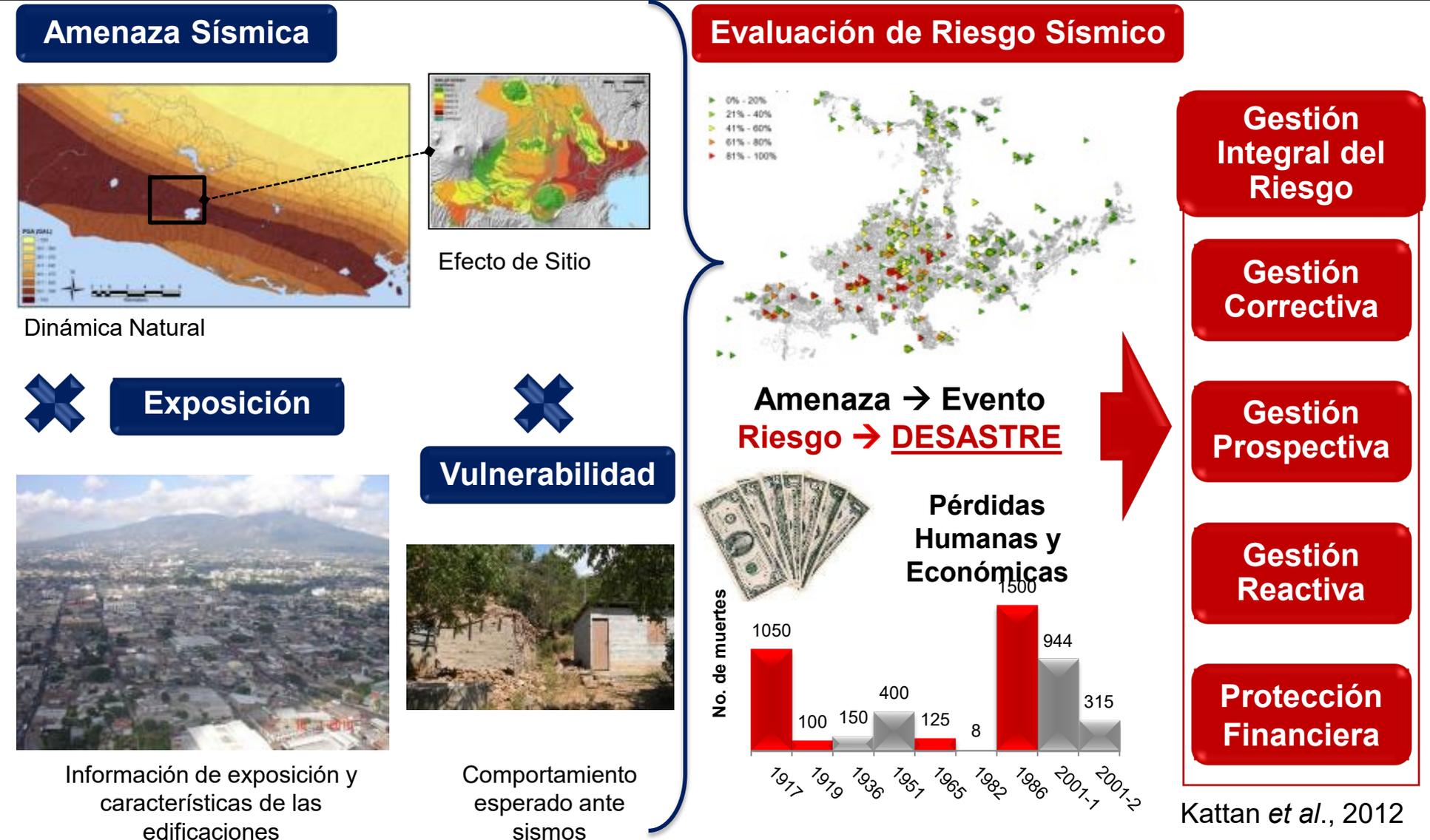




Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador

TEMA 3. Evaluación de la Amenaza y el Riesgo Sísmico en la curricula de la Universidad de El Salvador.

- Fundamentos de Ingeniería Sísmica. EST009.
- Se estudian los elementos que componen el Riesgo Sísmico.





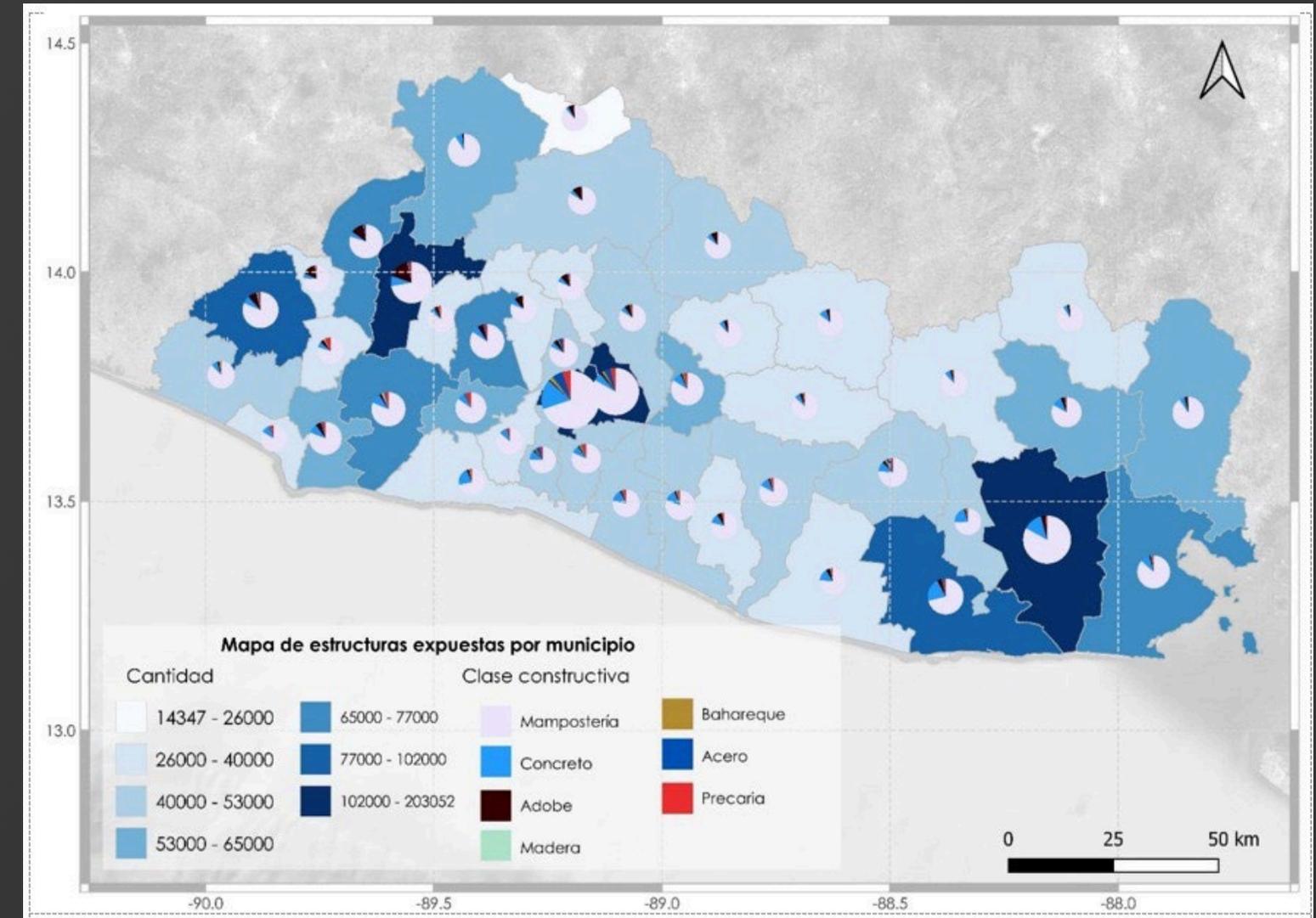
Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

TEMA 4 Elementos que componen el Riesgo Sísmico.

➤ Elementos que componen el Riesgo Sísmico:

- Amenaza
- Exposición
- Vulnerabilidad





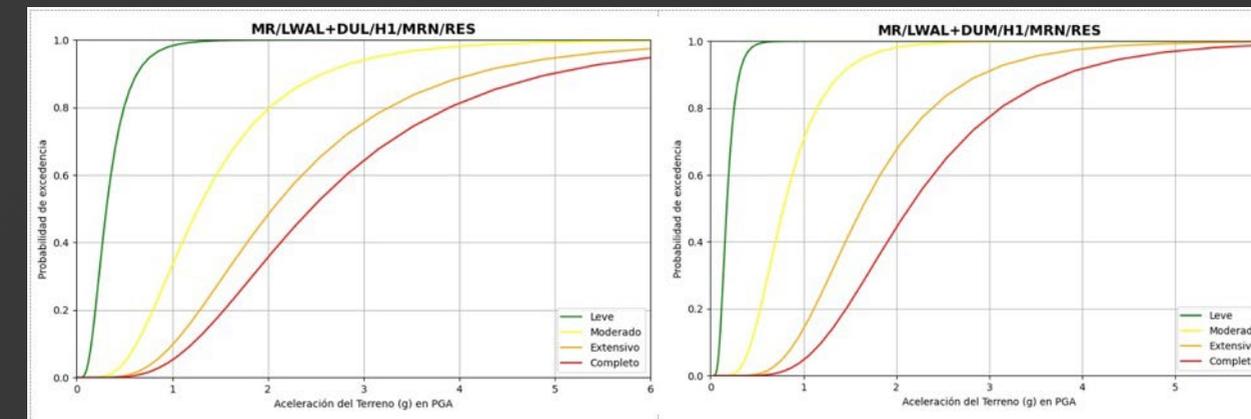
Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

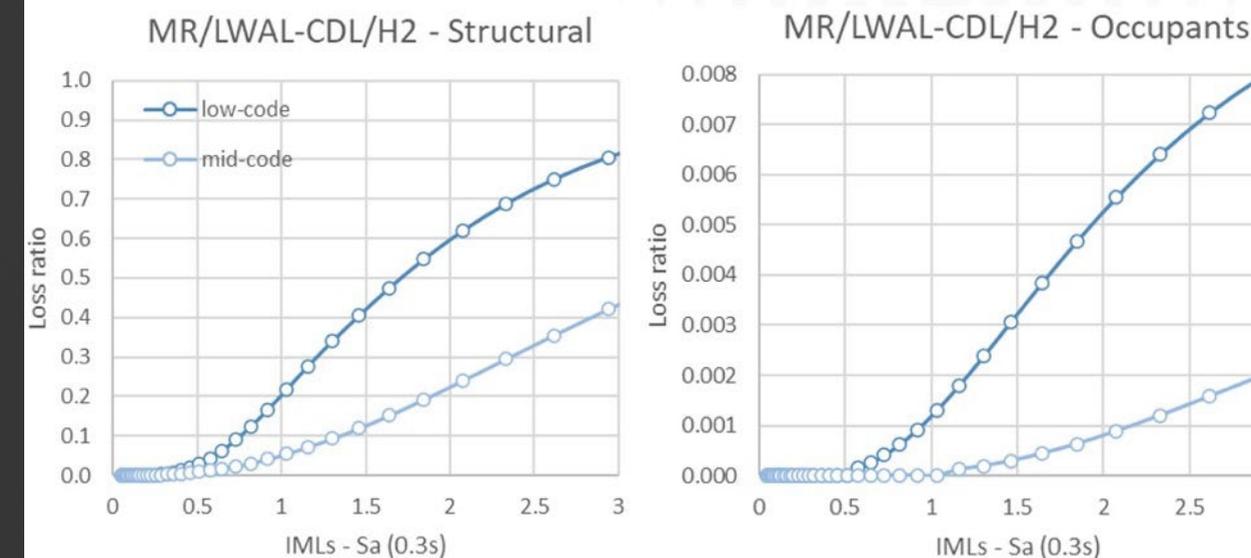
TEMA 4 Elementos que componen el Riesgo Sísmico.

➤ Elementos que componen el Riesgo Sísmico:

- Amenaza
- Exposición
- Vulnerabilidad



Reinforced Masonry shear-wall (LWALL) structures, with low code (CDL) and mid-level seismic provisions (CDM) and two-storées in height (H2).





Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador

TEMA 5. Productos que los gobiernos locales y central necesitan en una emergencia.

- Algunos productos, o métricas de riesgo son:
 - Distribución de edificaciones colapsadas.





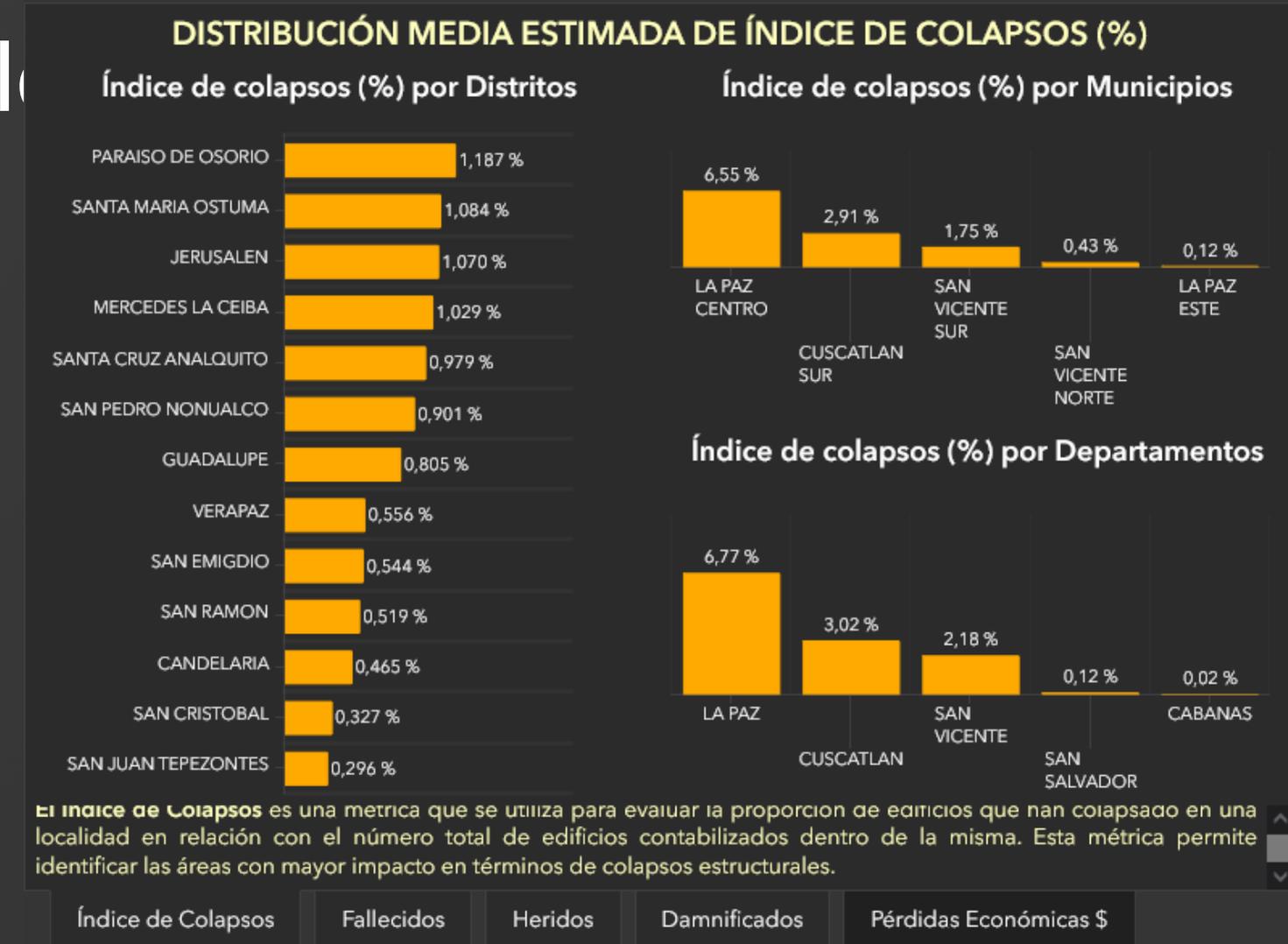
Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

TEMA 5. Productos que los gobiernos local central necesitan en una emergencia.

➤ Algunos productos, o métricas de riesgo son:

- Índice de colapsos. Esta métrica del riesgo permite identificar las áreas con mayor impacto en términos de colapsos estructurales.
- Se puede utilizar para hacer un ranking de las municipalidades en términos de colapsos estructurales.





Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.

El código sísmico en El Salvador

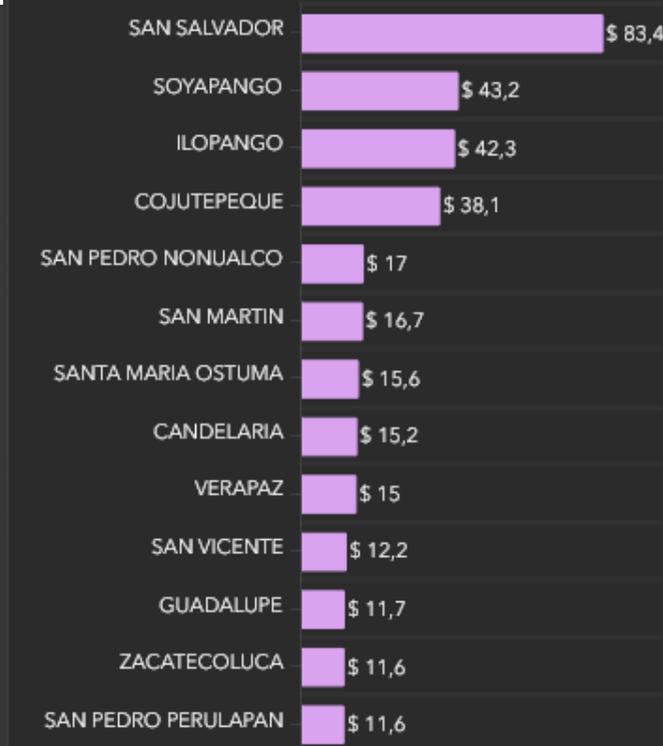
TEMA 5. Productos que los gobiernos local central necesitan en una emergencia.

➤ Algunos productos, o métricas de riesgo son:

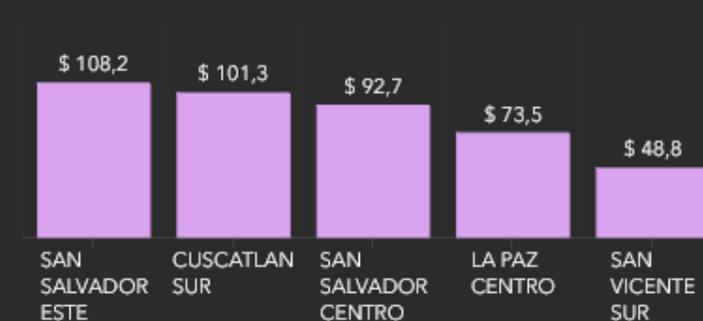
- Pérdidas Económicas. Esta métrica del riesgo estima el costo total esperado de daños materiales y la interrupción de actividades comerciales debido a un terremoto

DISTRIBUCIÓN MEDIA ESTIMADA DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS (en millones de \$)

Pérdidas Económicas por Distritos



Pérdidas Económicas por Municipios



Pérdidas Económicas por Departamentos



La métrica de **Pérdidas Económicas** estima el costo total esperado de daños materiales y la interrupción de actividades comerciales debido a un terremoto. Este análisis combina la exposición económica (valor de los activos expuestos), la vulnerabilidad de los activos frente al movimiento del terreno y las consecuencias económicas esperadas de los...

Índice de Colapsos

Fallecidos

Heridos

Damnificados

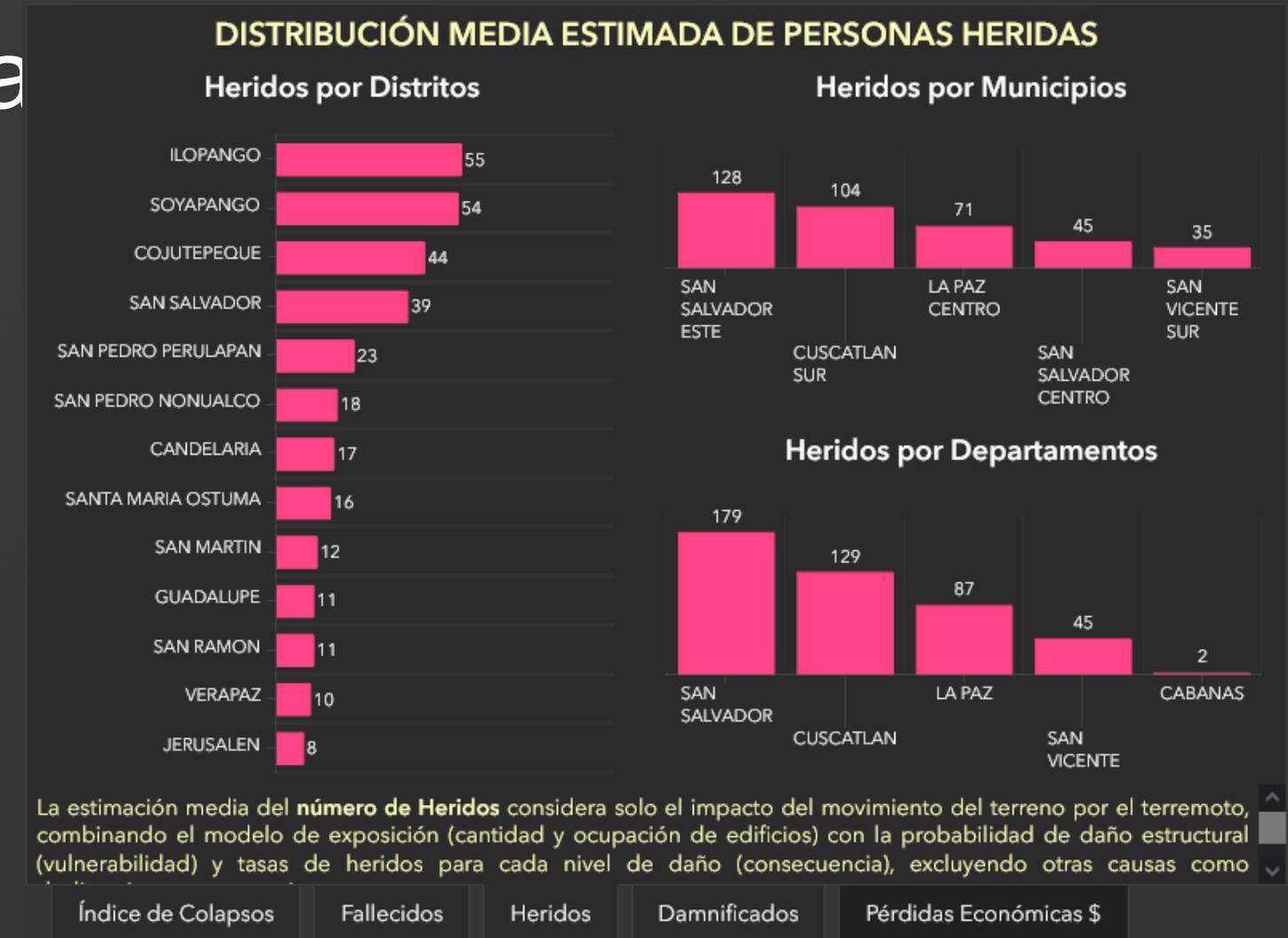
Pérdidas Económicas \$



Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador

TEMA 5. Productos que los gobiernos local central necesitan en una emergencia.

- Algunos productos, o métricas de riesgo son:
 - Personas heridas.





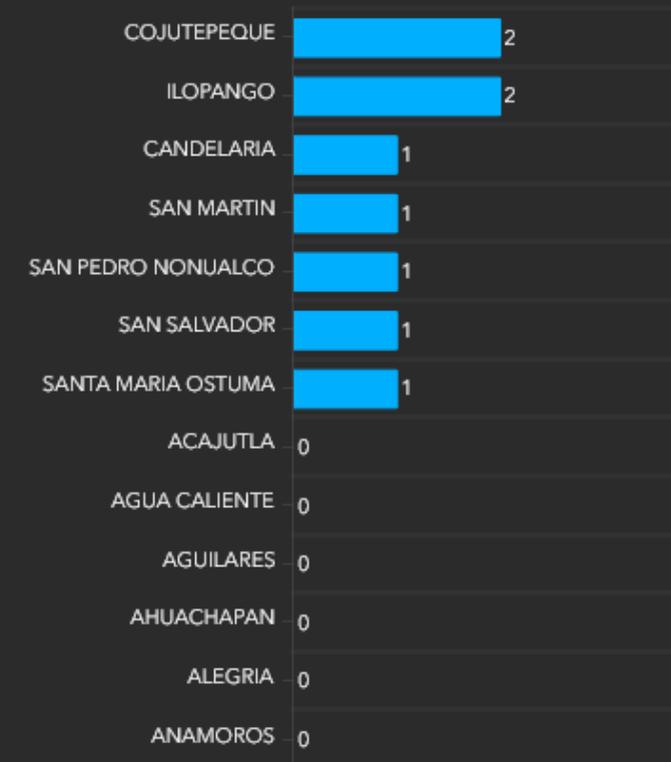
Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador

TEMA 5. Productos que los gobiernos locales central necesitan en una emergencia.

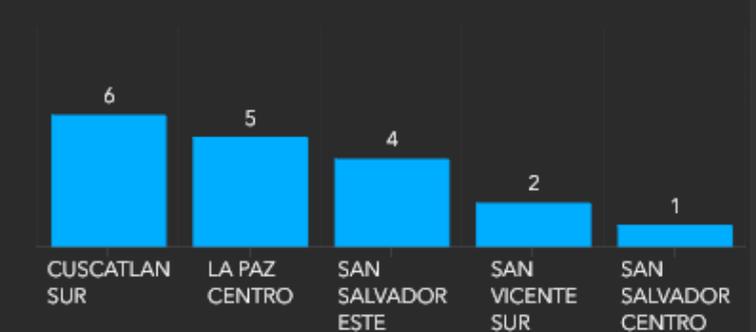
- Algunos productos, o métricas de riesgo son:
 - Personas damnificadas.

DISTRIBUCIÓN MEDIA ESTIMADA DE PERSONAS DAMNIFICADAS (en miles)

Damnificados (en miles) por Distritos



Damnificados (en miles) por Municipios



Damnificados (en miles) por Departamentos



La estimación media del número de Damnificados considera solo el impacto del movimiento del terreno por el terremoto, combinando el modelo de exposición (cantidad y ocupación de edificios) con la probabilidad de daño estructural (vulnerabilidad) y tasas de damnificados para cada nivel de daño (consecuencia), excluyendo otras causas



TEMA 6. Otros usos de los elementos que componen el riesgo sísmico.

- Evaluación de riesgo por deslizamientos
- Evaluación de riesgo por erupciones volcánicas
- Evaluación de riesgo por inundaciones
- Evaluación de riesgo por incendios

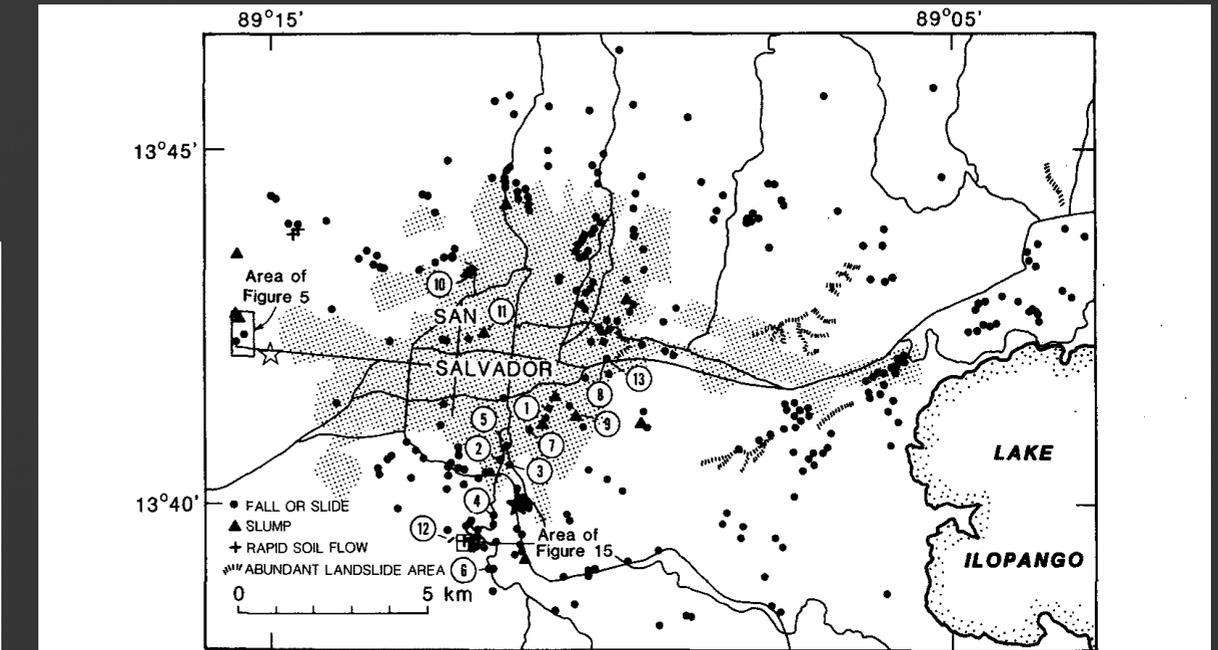
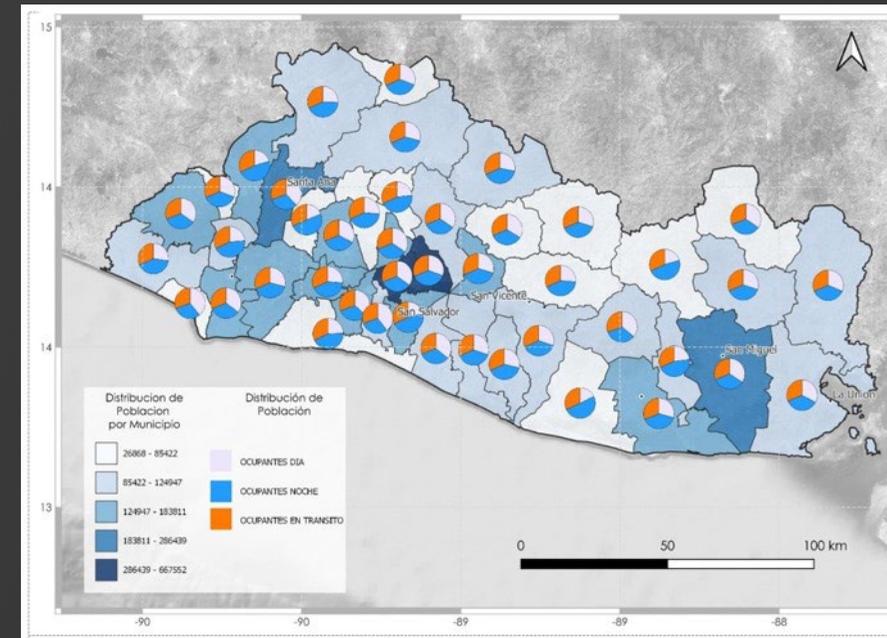


Figure 7 – Location of ground failures developed in association with the October 10 main shock, localities described in text (circled numbers), and locations of Figures 5 and 15. Solid star denotes location of October 10 main-shock epicenter; open star marks location of October 13 epicenter. San Salvador urban area and major roads shown for location.



Amenaza y riesgo sísmico, enseñanza y aplicaciones.
El código sísmico en El Salvador

TEMA 7. GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO.

➤ Evaluación del Riesgo como herramienta para la toma de decisiones.

LA INFORMACIÓN QUE PUEDAN APORTAR NOS AYUDA A PROVEER MEJORES HERRAMIENTAS PARA LA TOMA DE DECISIONES.





Protegiendo El Salvador Fortaleciendo Nuestra Resiliencia Sísmica

Proyecto FORCE – Pronóstico y Comunicación
de Amenaza y Riesgo por Terremotos

San Salvador, Enero 21 a 24 de 2025



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE





MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE



PRONÓSTICO DE RIESGO SISMICO EN EL SALVADOR

Proyecto FORCE – Pronóstico y Comunicación
de Amenaza y Riesgo por Terremotos

Luis Mixco, Alvin López, Adonay Martínez, Manuel López
Catalina Yepes - Estrada, Alejandro Calderón, Stanley González



El Salvador

Escenario Sísmico – Mw 6.6 2001 (San Vicente)

Municipios Más Afectados



Custalán Sur



La Paz Este



La Paz Centro



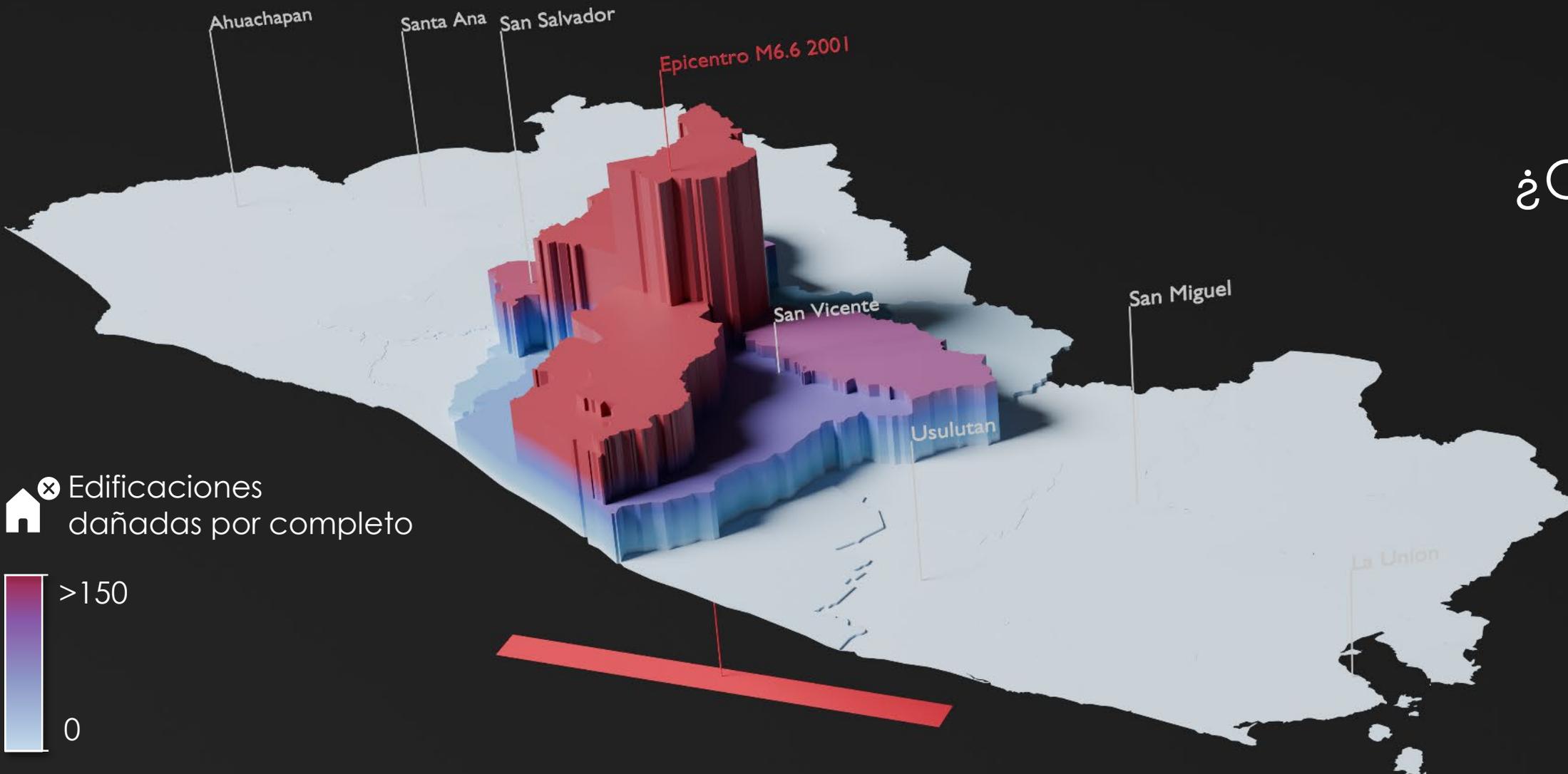
San Vicente Norte



San Vicente Sur



San Salvador Este



☒ Edificaciones dañadas por completo



¿Cómo el riesgo se transforma en pérdidas reales?

$$Amenaza \times Exposición \times Vulnerabilidad$$



Dañadas



\$Perdidos



Fatalidades



Damnificados



Municipios



El Salvador

Mapa de Vulnerabilidad en Edificaciones

Municipios Con Alta Vulnerabilidad



San Salvador Centro



San Vicente Sur



Usulután Este



Sonsonate Centro

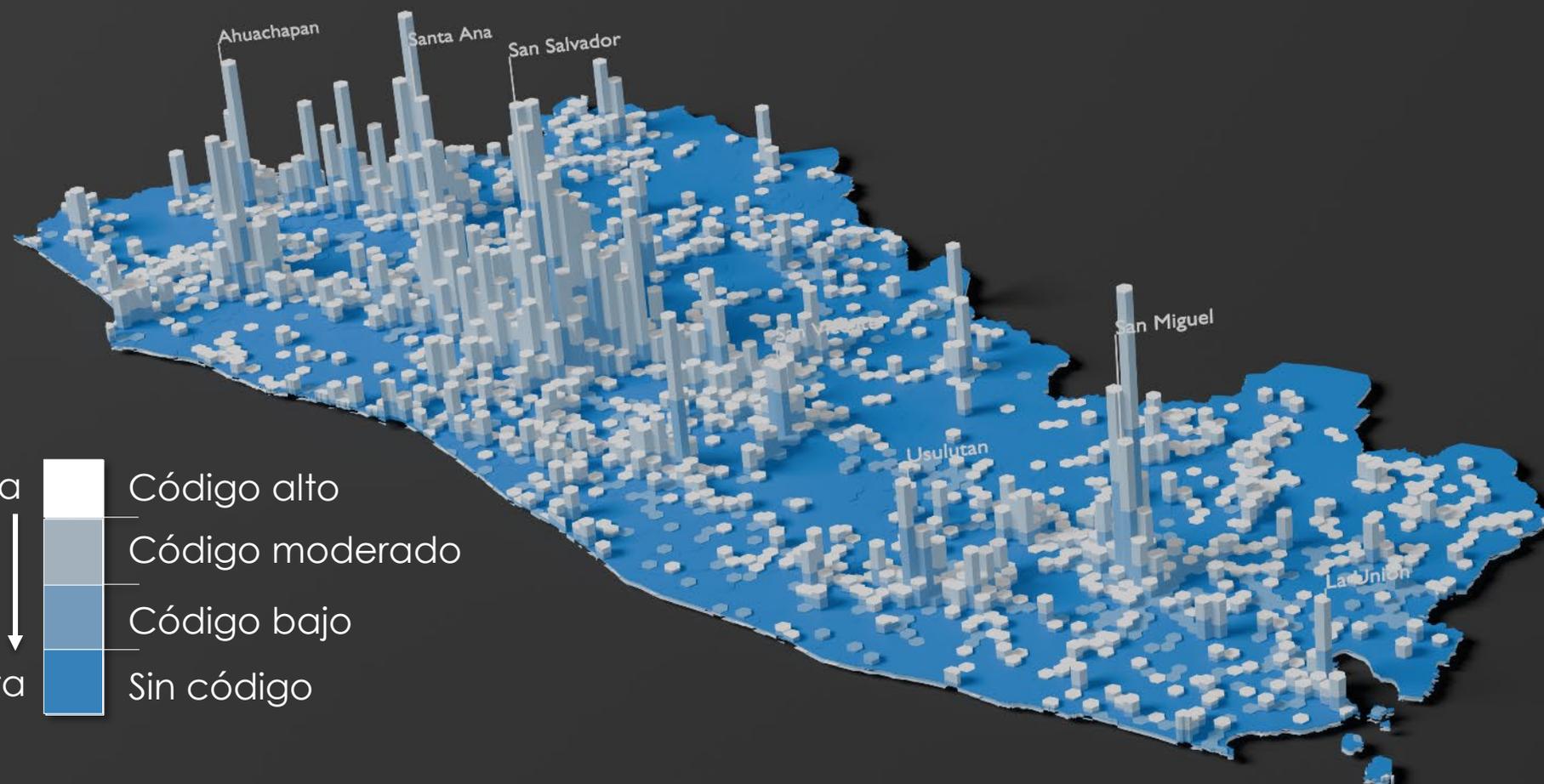


Santa Ana Centro

Inventario 2025



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE



Escenario A:
¿Cuál sería nuestra vulnerabilidad en 30 años, si seguimos construyendo de la misma manera?



40 de 100 Edificaciones



\$35 de \$100 Invertidos



39 de 100 Ocupantes



18 de 44 Municipios



El Salvador

Mapa de Vulnerabilidad en Edificaciones

Municipios Con Alta Vulnerabilidad



San Salvador Centro



San Vicente Sur



Usulután Este



Sonsonate Centro



Santa Ana Centro

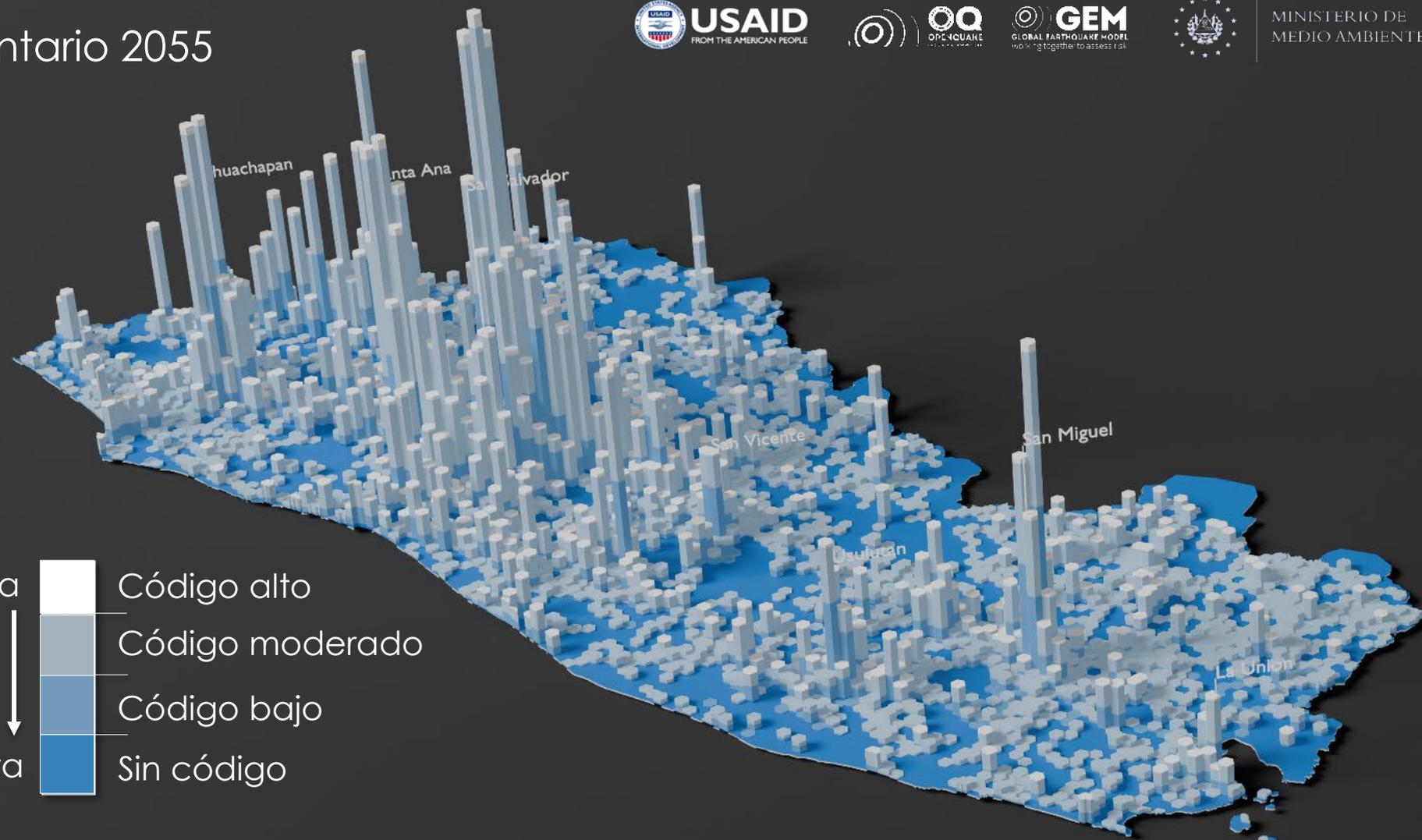
Inventario 2055



USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE



MINISTERIO DE
MEDIO AMBIENTE



Nuestra vulnerabilidad en 30 años:

↑+2.5% **anual** de crecimiento residencial

↑+1.6 M de edificaciones nuevas (+70%)

↑+\$165 mil M de dólares invertidos (+85%)



42 de 100
Edificaciones

↑+3%



\$38 de \$100
Invertidos

↑+2%



40 de 100
Ocupantes

↑+3%



18 de 44
Municipios

0%



El Salvador

Mapa de Riesgo Económico Relativo

Municipios con Pérdidas Relativas Más Altas

Ahuachapán Norte

Santa Ana Oeste

Santa Ana Centro

Usulután Este

Usulután Oeste

Riesgo 2025

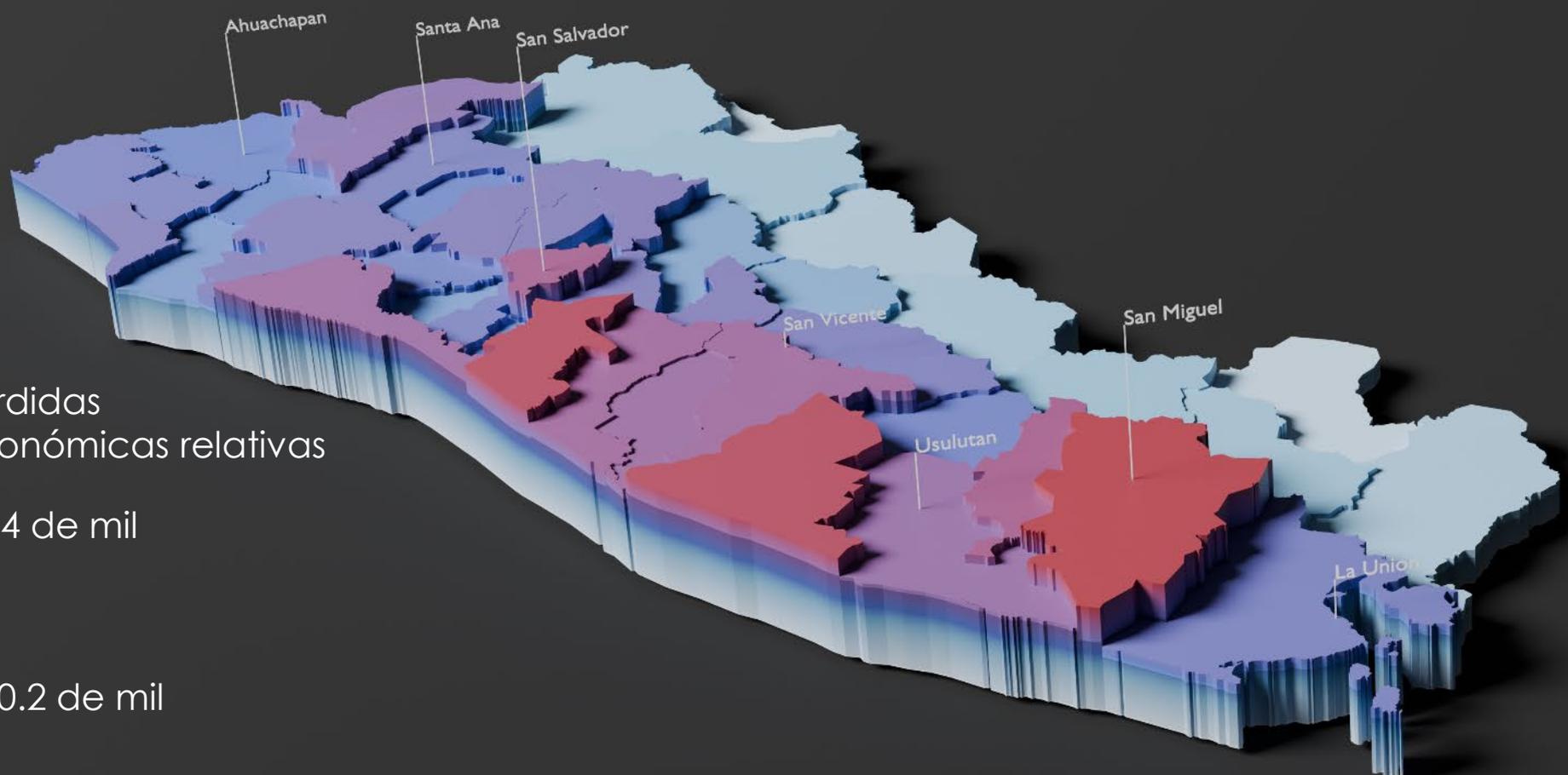


MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

Nuestras pérdidas relativas en cifras:

- ❖ Más de 128 viviendas de cada mil perdidas en el promedio
- ❖ Más de \$4 millones de cada mil perdidos en el promedio
- ❖ Más de 2 de cada 100 mil personas fallecidas en el promedio
- ❖ Más de 240 mil damnificados de cada 100 mil personas

✕ Pérdidas económicas relativas



128 de mil
Dañadas



\$4 de mil
Perdidos



2 de 100 mil
Fatalidades



240 de 100 mil
Damnificados



El Salvador

Mapa de Riesgo Económico Relativo

Municipios con Pérdidas Relativas Más Altas

Ahuachapán Norte

Santa Ana Oeste

Santa Ana Centro

Usulután Este

Usulután Oeste

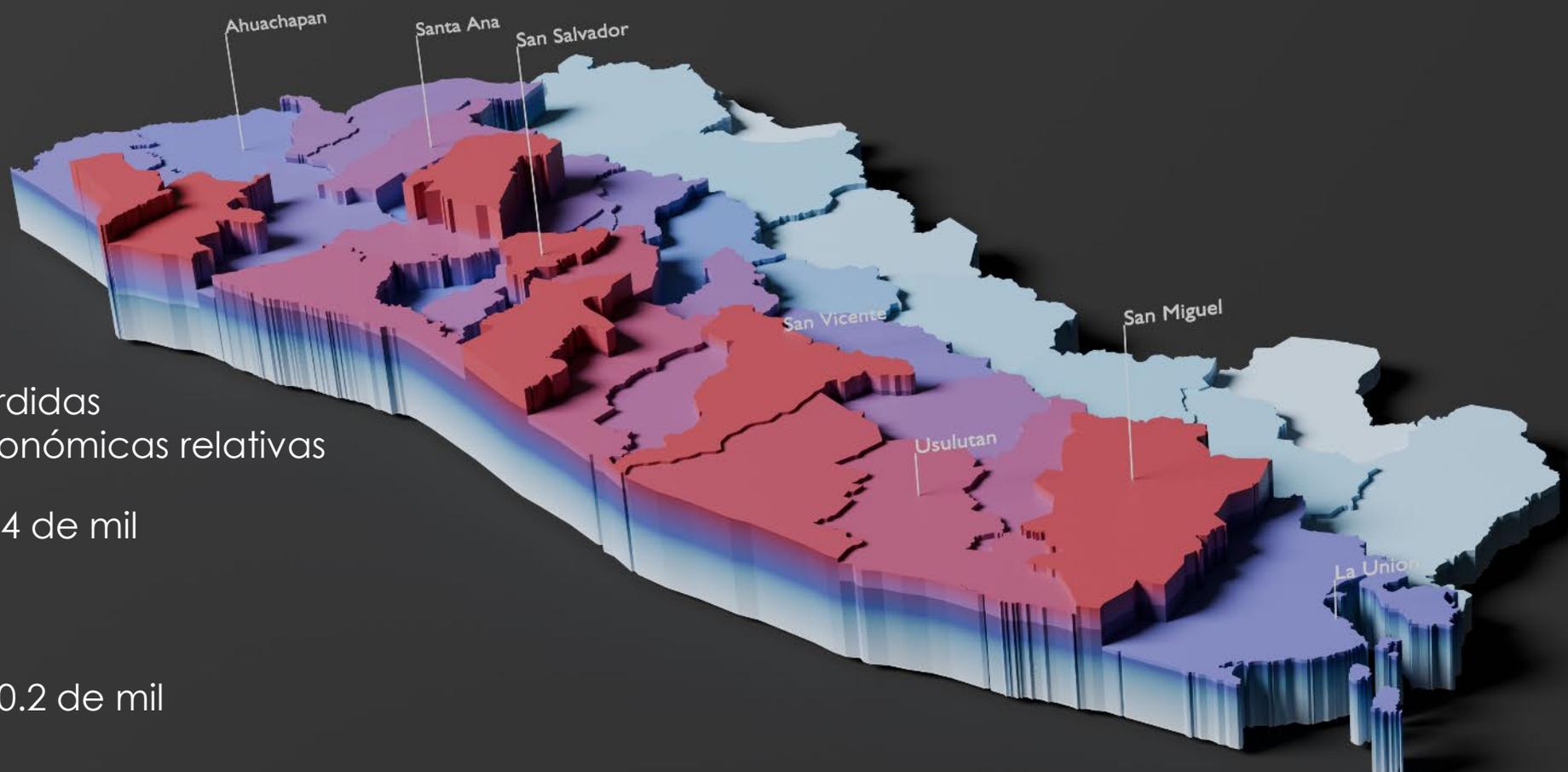
Riesgo 2055



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE

Nuestras pérdidas relativas en cifras:

- ❖ Más de 128 viviendas de cada mil perdidas en el promedio
- ❖ Más de \$4 millones de cada mil perdidos en el promedio
- ❖ Más de 2 de cada 100 mil personas fallecidas en el promedio
- ❖ Más de 240 mil damnificados de cada 100 mil personas



⊗ Pérdidas económicas relativas



138 de mil Dañadas
↑+8%



\$4.3 de mil Perdidos
↑+9%



2.4 de 100 mil Fatalidades
↑+22%



270 de 100 mil Damnificados
↑+13%



El Salvador

Mapa de Vulnerabilidad en Edificaciones

Municipios Con Alta Vulnerabilidad



San Salvador Centro



San Vicente Sur



Usulután Este



Sonsonate Centro

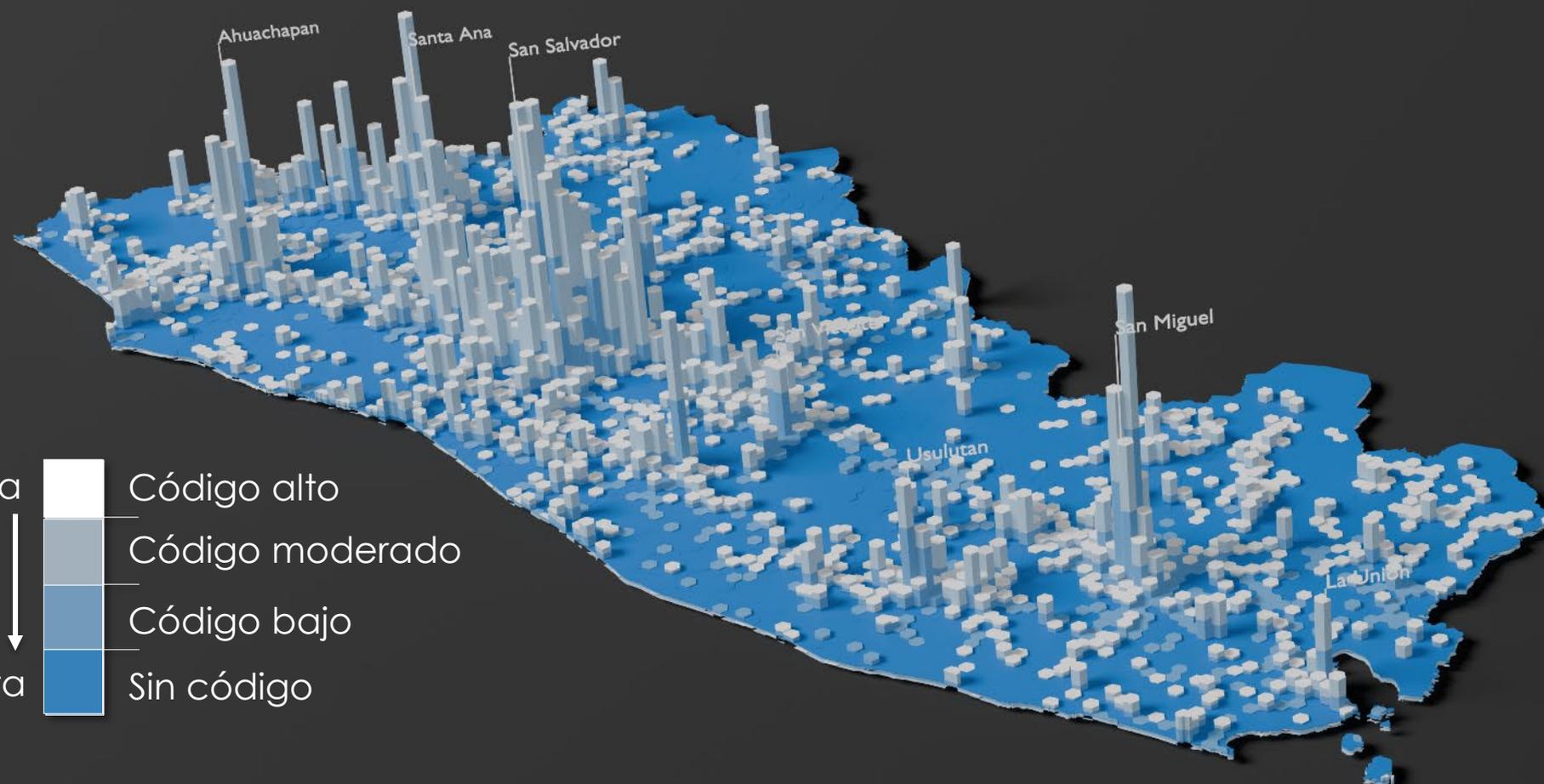


Santa Ana Centro

Inventario 2025



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE



Escenario B:

¿Cuál sería nuestra vulnerabilidad en 30 años, si todos usáramos el código sísmico?



40 de 100 Edificaciones



\$35 de \$100 Invertidos



39 de 100 Ocupantes



18 de 44 Municipios



El Salvador

Mapa de Vulnerabilidad en Edificaciones

Municipios Con Alta Vulnerabilidad



San Salvador Centro



San Vicente Sur



Usulután Este



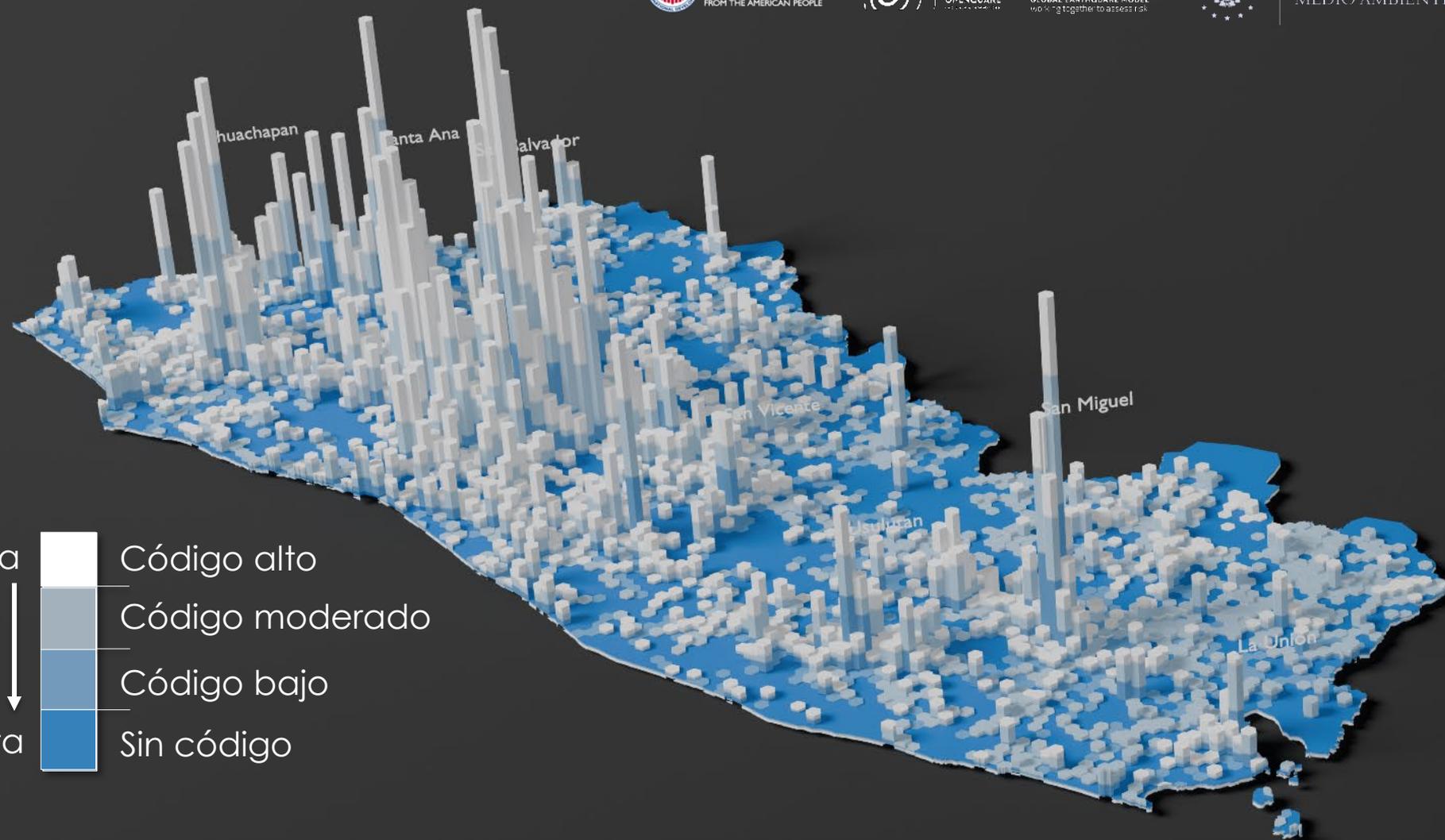
Sonsonate Centro



Santa Ana Centro



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE



Nuestra vulnerabilidad en 30 años:

↑+2.1% anual de crecimiento residencial

↑+1.1 M de edificaciones nuevas (+50%)

↑+\$117 mil M de dólares invertidos (+60%)



26 de 100 Edificaciones

↓-32%



\$4 de \$100 Invertidos

↓-33%



24 de 100 Ocupantes

↓-33%



11 de 44 Municipios

↓-42%



El Salvador

Mapa de Riesgo Económico Relativo

Municipios con Pérdidas Relativas Más Altas

Ahuachapán Norte

Santa Ana Oeste

Santa Ana Centro

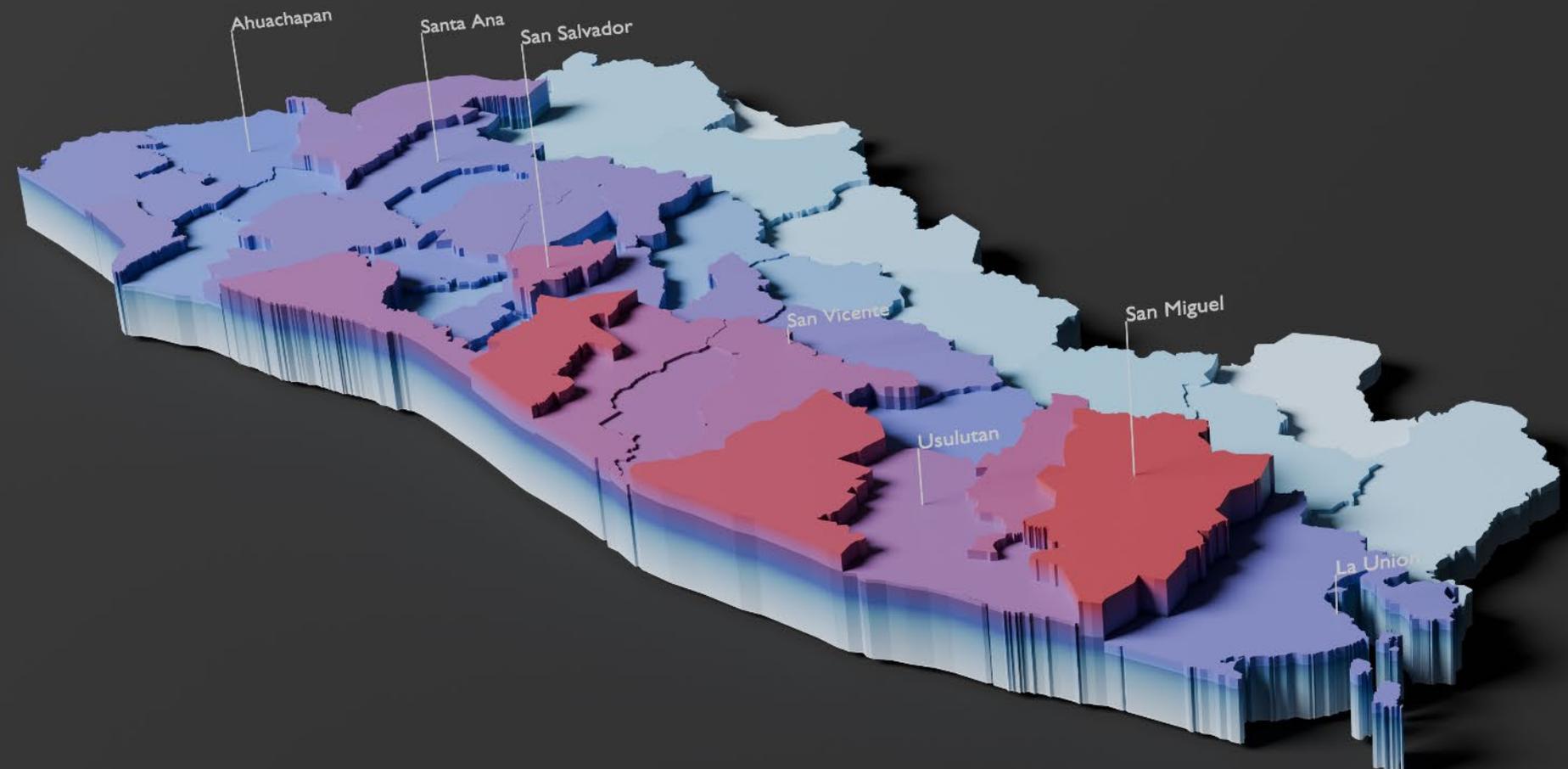
Usulután Este

Usulután Oeste

Riesgo 2025



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE



Nuestras pérdidas relativas en cifras:

- ❖ Más de 128 viviendas de cada mil perdidas en el promedio
- ❖ Más de \$4 millones de cada mil perdidos en el promedio
- ❖ Más de 2 de cada 100 mil personas fallecidas en el promedio
- ❖ Más de 240 mil damnificados de cada 100 mil personas



128 de mil
Dañadas



\$4 de mil
Perdidos



2 de 100 mil
Fatalidades



240 de 100 mil
Damnificados



El Salvador

Mapa de Riesgo Económico Relativo

Municipios con Pérdidas Relativas Más Altas

Ahuachapán Norte

Santa Ana Oeste

Santa Ana Centro

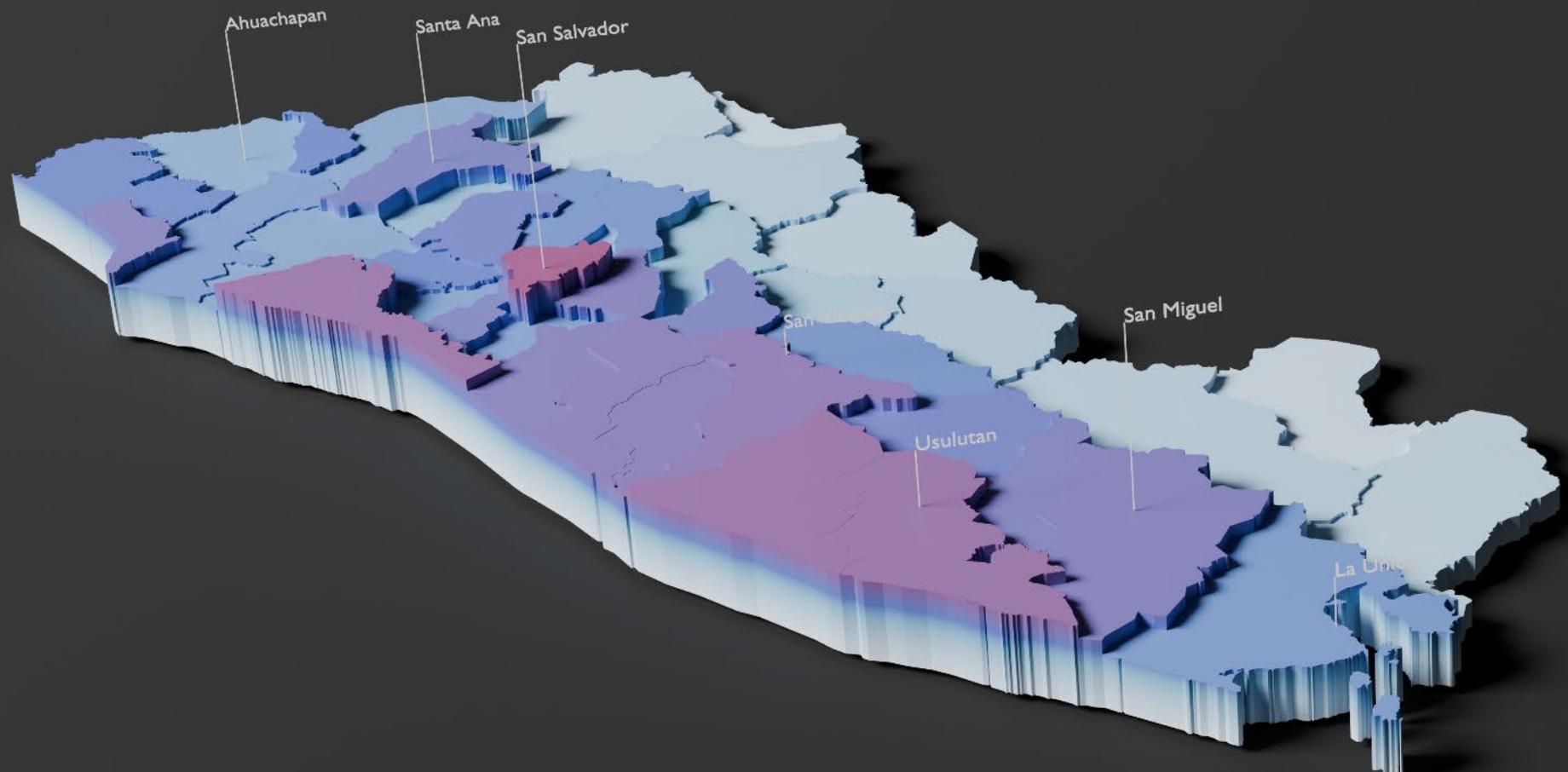
Usulután Este

Usulután Oeste

Riesgo 2055



MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE



Nuestras pérdidas relativas en cifras:

- ❖ Más de 128 viviendas de cada mil perdidas en el promedio
- ❖ Más de \$4 millones de cada mil perdidos en el promedio
- ❖ Más de 2 de cada 100 mil personas fallecidas en el promedio
- ❖ Más de 240 mil damnificados de cada 100 mil personas



97 de mil

Dañadas

↓-24%



\$2.5 de mil

Perdidos

↓-38%



1.5 de 100 mil

Fatalidades

↓-22%



240 de 100 mil

Damnificados

↓-24%