

Primer Taller Internacional Virtual

Acompañamiento en el proceso de reconstrucción de escuelas

David Murià-Vila



Autores del estudio

Sergio M. Alcocer Martínez de Castro,
Coordinador ¹
David Murià Vila, co-coordinador ¹

José Carlos Arce Riobóo ²
Roberto Durán Hernández ¹
Luciano Fernández Sola ³
Mario Ordaz Schroeder ¹
Danny Arroyo Espinoza ³
Miguel Ángel Jaimes Téllez ¹
Gerardo Rodríguez Gutiérrez ¹
Miguel Rodríguez González ¹

¹ Instituto de Ingeniería, UNAM

² Grupo Riobóo

³ Universidad Autónoma Metropolitana

⁴ INIFED

Arely N. Acevedo Domínguez ¹
Carlos Z. Báez Aguirre ⁴
Rubén Bautista Monroy ¹
Juan J. Durán Blancas ¹
Daniel A. Guardia Lucero ²
Leonardo Martínez Vázquez ⁴
César Viramontes Heredia ¹

B. Daniel Aldama Sánchez ¹
Daniel A. Bonilla Moreno ¹
Víctor D. Cruz Eligio ¹
Eloísa García Sáenz ²
Valeria García Pantoja ¹
Rogelio Guevara Lima ¹
Juan M. Hernández Castro ¹
Jorge A. López Rodríguez ²
Luis C. Pedrero Padilla ¹
Diana C. Ramírez Quintero ¹
Gianella A. Valencia Ronquillo ¹
Vanessa Valencia Medina ¹



Contenido

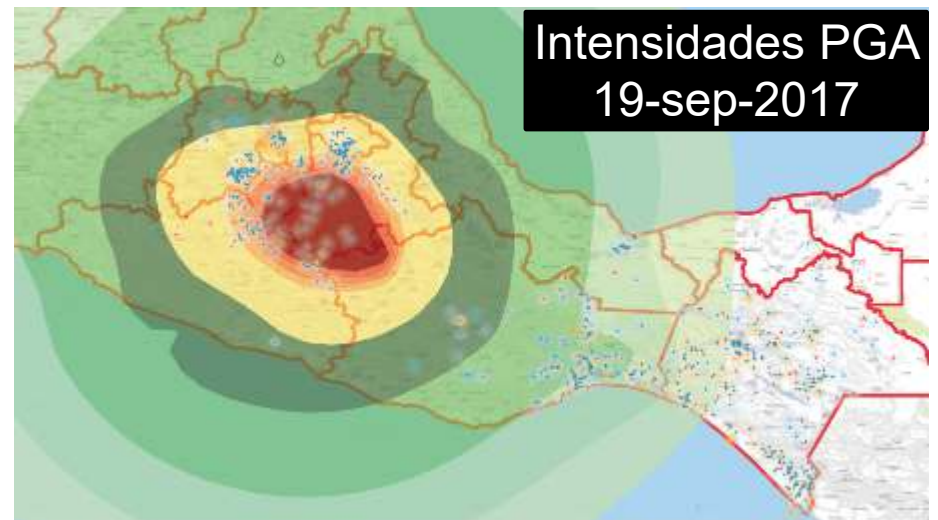
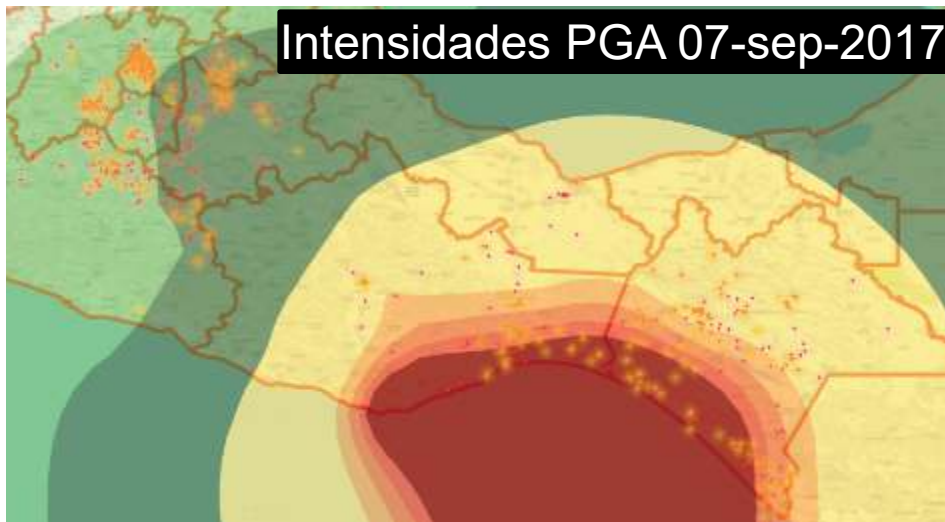
- Introducción
- Levantamiento de daños
- Daños y fallas observadas
- Funciones empíricas de fragilidad
- Estudios de vibración ambiental
- Modelos numéricos
- Conclusiones y recomendaciones



Introducción

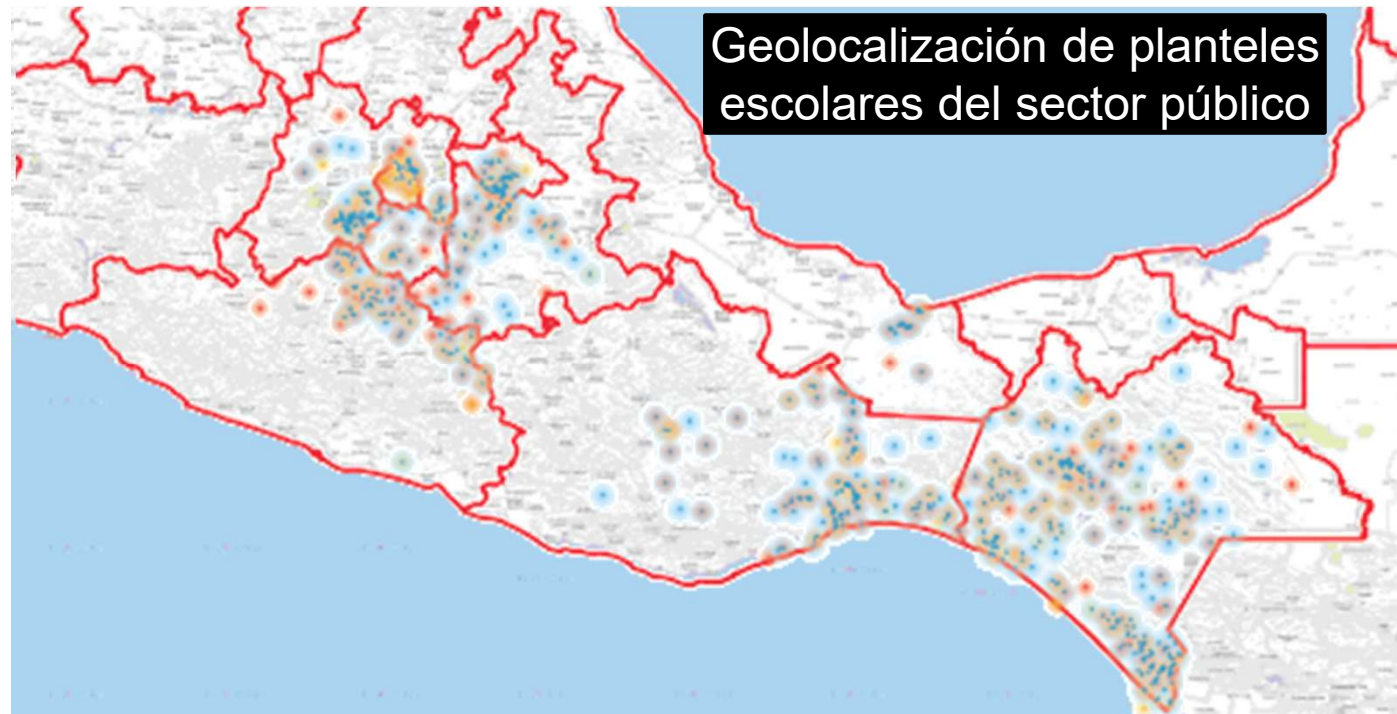
En 2017, México fue impactado por dos grandes sismos:

- **7 septiembre**, golfo de Tehuantepec Mw8.2
Afectó principalmente a los estados de Chiapas y Oaxaca (98 decesos)
- **19 septiembre**, centro del país Mw7.1
Afectó principalmente a los estados de Puebla, Morelos, Edo de México y Cd de México (369 decesos, CdMx 228)





Introducción



- 19,194 planteles escolares dañados
 - 12,014 daños menores (63%)
 - 6,970 daños moderados y severos (36%)
 - 210 reconstrucción (1%)
- Ninguna víctima en escuelas públicas



Introducción

El IIUNAM se asoció con el **INIFED** y el **BM** para contribuir al proceso de reconstrucción mediante la recopilación de evidencias y la promoción de un programa escolar más amplio y seguro

Objetivo:

Generar conocimiento basado en la evidencia, en el análisis del desempeño de los edificios escolares afectados por los sismos 2017, con el fin de informar y documentar el proceso de recuperación



Introducción

Alcances:

- Definir una estrategia de recuperación para infraestructura escolar
- Proponer una estrategia de reducción de vulnerabilidad sísmica para la infraestructura escolar nueva y existente que será intervenida
- Desarrollar una plataforma de información para evaluar el desempeño de edificios en futuros eventos sísmicos



Levantamiento de daños

Elaboración de una base de datos de edificios escolares para su análisis y evaluación:

- Incluye **12,322 edificios** (13.2% de los planteles con daños, y el 35.3% de los planteles con daños moderados y severos, según los datos INIFED)
- Se encontró que la calidad de la información variaba ampliamente, en consistencia e integridad de los datos



Levantamiento de daños

Los edificios escolares se clasificaron según el **material** (mampostería, concreto o acero) y su correspondiente **prototipo**

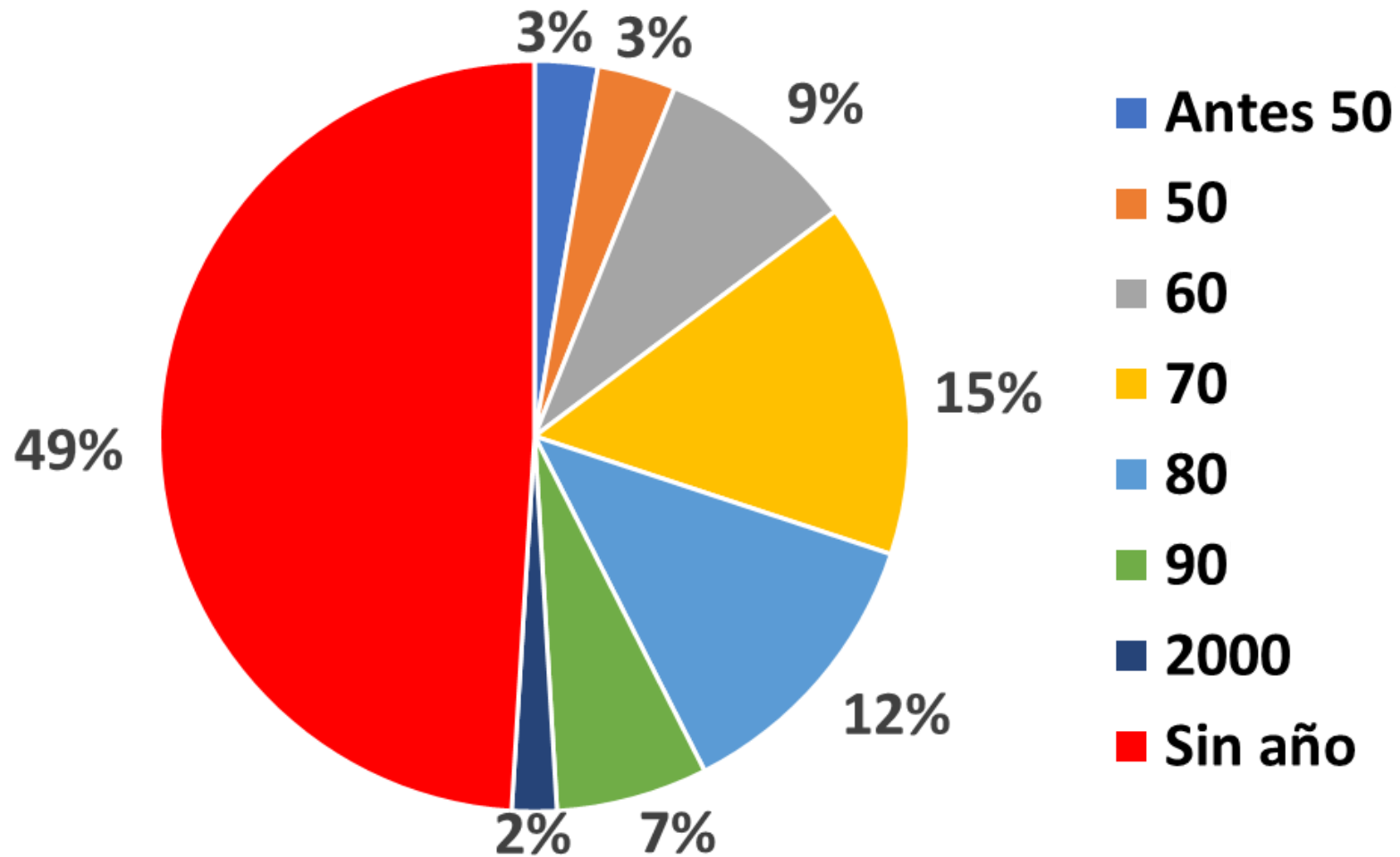
Los **prototipos** fueron aquellos que **INIFED** y su antecesor, **CAPFCE**, han diseñado, construido y regulado durante los últimos 75 años

El 46% del total de los edificios de la base de datos son **atípicos**



Levantamiento de daños

Distribución por año - 7411 edificios prototipo



* 4920 edificios atípicos - 36% sin año



Levantamiento de daños

Edificios prototipos más afectados por los sismos 2017



Edificios atípicos



Levantamiento de daños

Daños atribuibles a:

- Detalles no dúctiles y baja resistencia sísmica
- Deficiente calidad constructiva
- Falta de inspección calificada
- Modificaciones inadecuadas
- Falta de mantenimiento adecuado



Levantamiento de daños

La edad de construcción es un parámetro clave para evaluar la vulnerabilidad estructural en México

- La comparación del nivel de daño en edificios **pre-85** y **post-85** (punto de inflexión en el diseño de estructuras)
- A raíz del sismo de 1985 aumentaron los coeficientes sísmicos y se incluyó un detallado de armados (comportamiento dúctil)

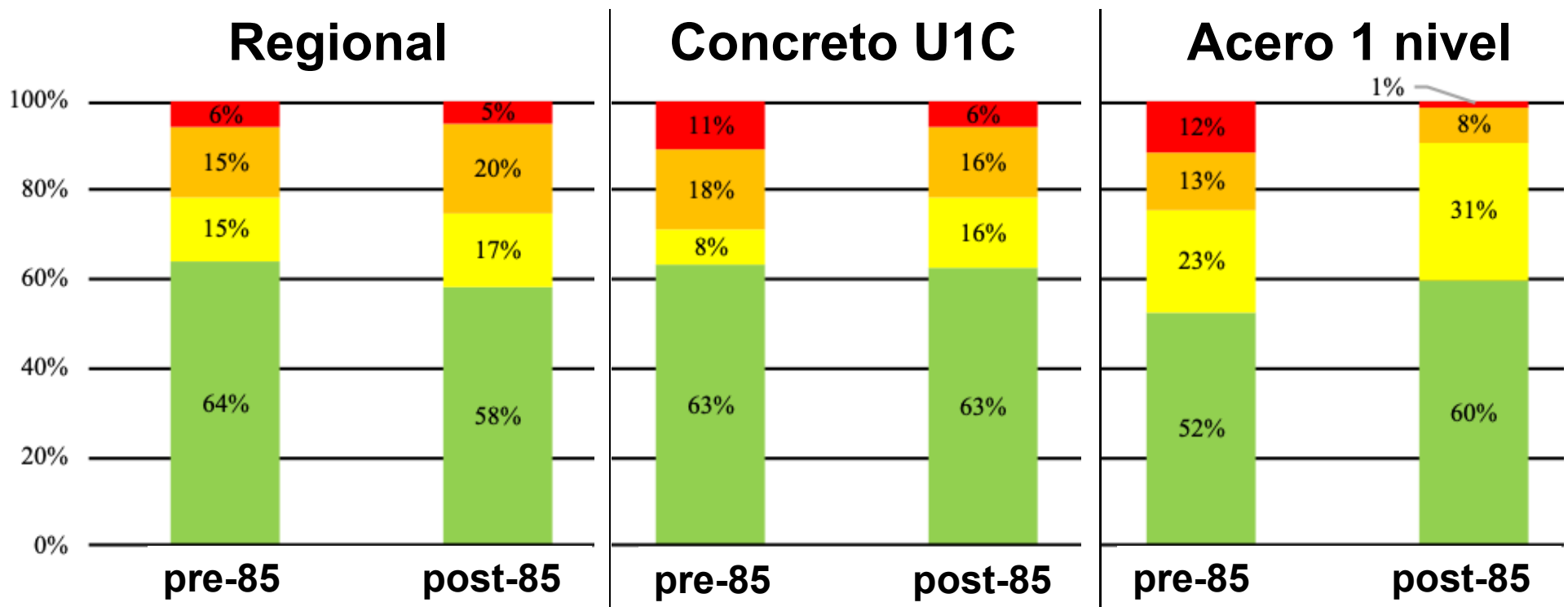


Levantamiento de daños

Daños pre-85 & post-85

(pre-85: 2/3 edificios de la base de datos)

- **Regionales** no se distingue diferencia de daño
- **Edificios de concreto y acero** evidencia disminución de daños

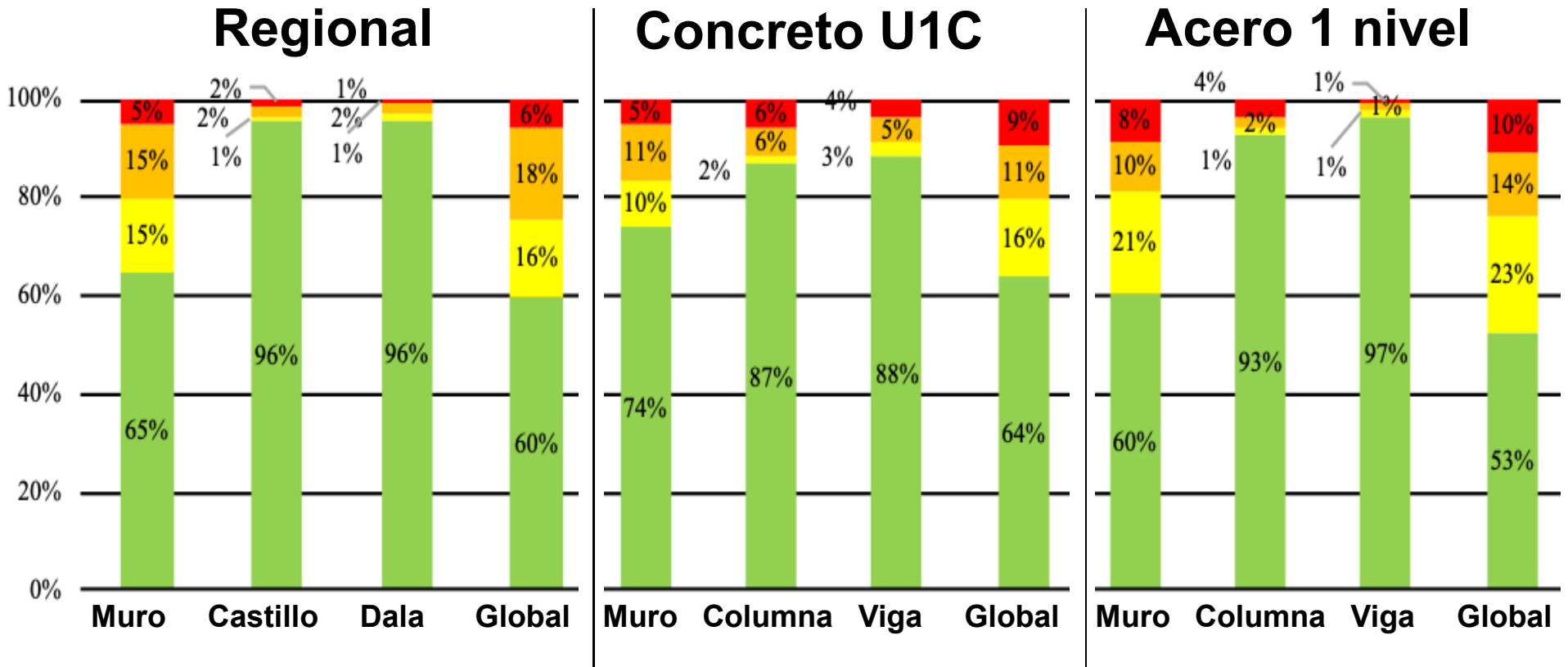




Levantamiento de daños

Distribución de los daños de los edificios prototipo

- Daños menores en el 75% de los casos
- Todos resistieron los sismos 2017





Levantamiento de daños

Distribución de los daños de los edificios prototipo

- Daños menores en el 75% de los casos
- Todos resistieron los sismos 2017

Edificios Regionales, Concreto y Acero

Los daños se concentraron en sus **muros mampostería**

Regionales: los daños fueron grietas inclinadas y, en algunos casos, grietas por flexión en contrafuertes

Edificios de concreto: Los daños se concentró en columnas. Predominó el efecto de columna corta

Edificios de acero: el daño severo fue el pandeo local de los elementos de acero de columnas y vigas en edificios **pre-85**



Daños y fallas observadas

Inspecciones de campo (Oaxaca, Morelos y CDMX)

Objetivos

- Identificar los tipos de daños
- Calidad de la información registrada en las cédulas
- Rehabilitación y reconstrucción
- Estudios de vibración ambiental



Daños y fallas observadas





Daños y fallas observadas

Regionales sin contrafuerte



(Fotos INIFED)





Daños y fallas observadas



Plantel A

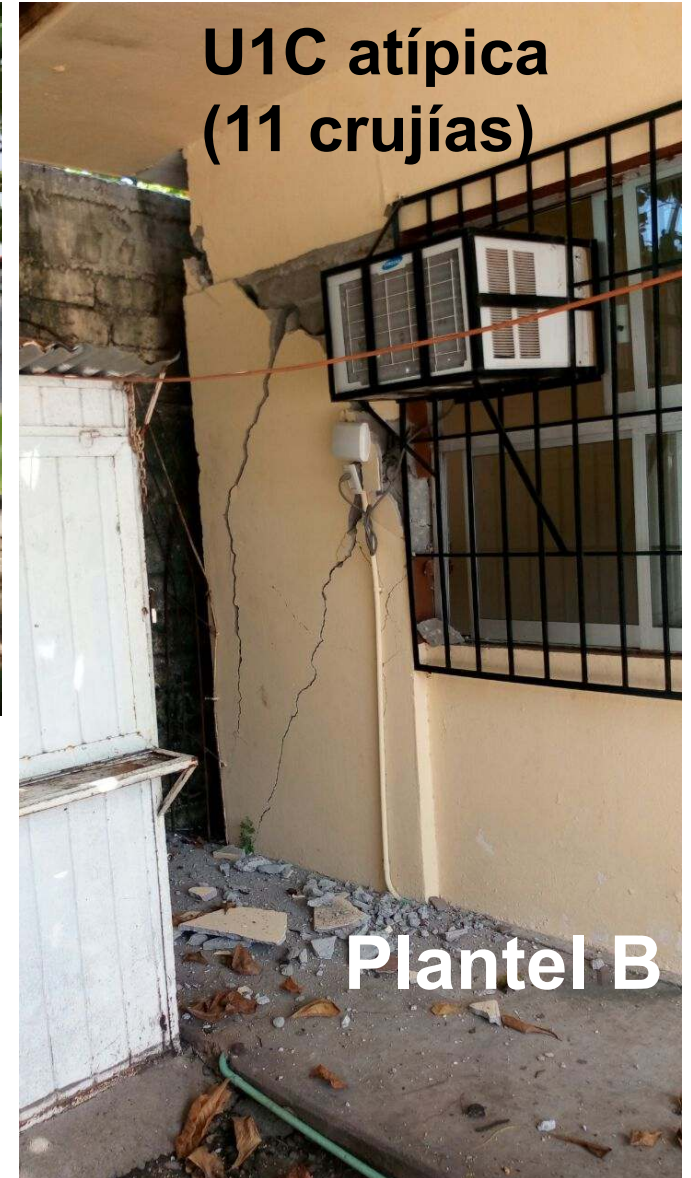
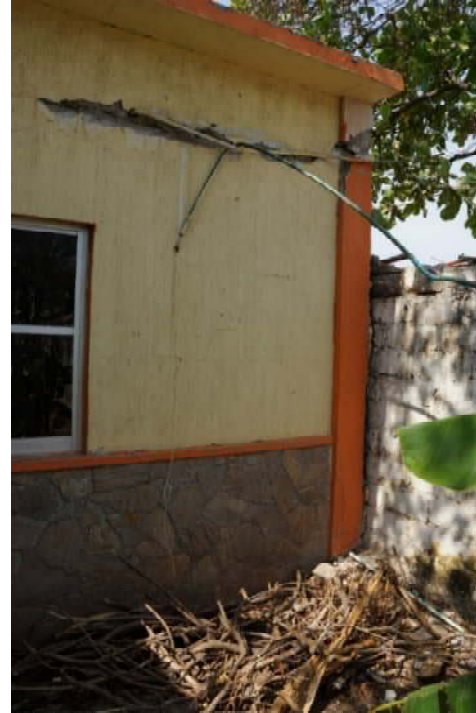


**U1C atípica
(11 crujiás)**

Plantel B



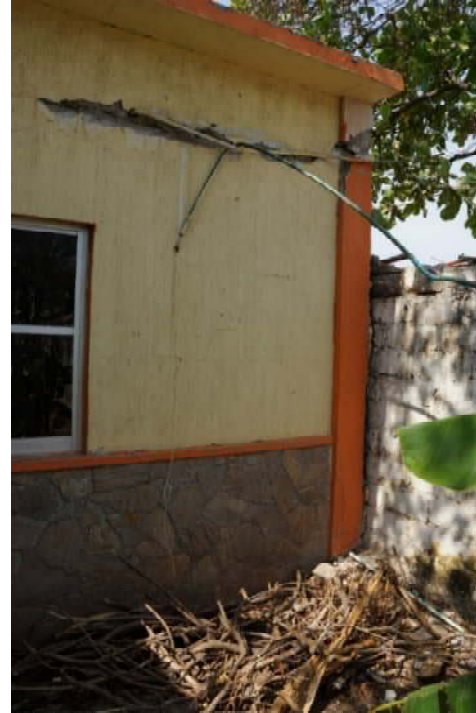
Daños y fallas observadas



Fotos de personal del plantel



Daños y fallas observadas



Fotos de personal del plantel



Daños y fallas observadas

**Regionales
con contrafuerte**

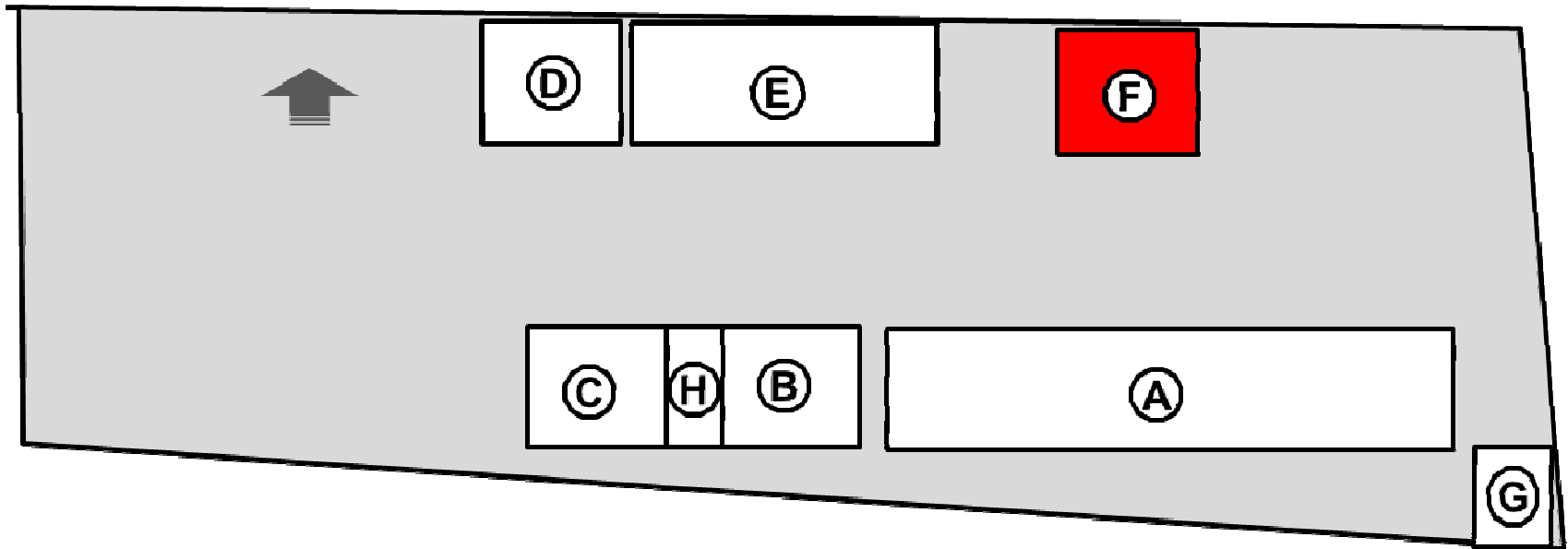




Daños y fallas observadas



Acceso





Daños y fallas observadas

Edificios de acero

U1, diseño 1970





Daños y fallas observadas



Edificios de acero
A70, diseño 1970
A84C, diseño 1984





Daños y fallas observadas



Edificios de acero





Daños y fallas observadas



**Edificio de concreto U1C,
diseño 1990**





Daños y fallas observadas



**Edificios de concreto
U1C**





Daños y fallas observadas



**Edificios de concreto
U1C**



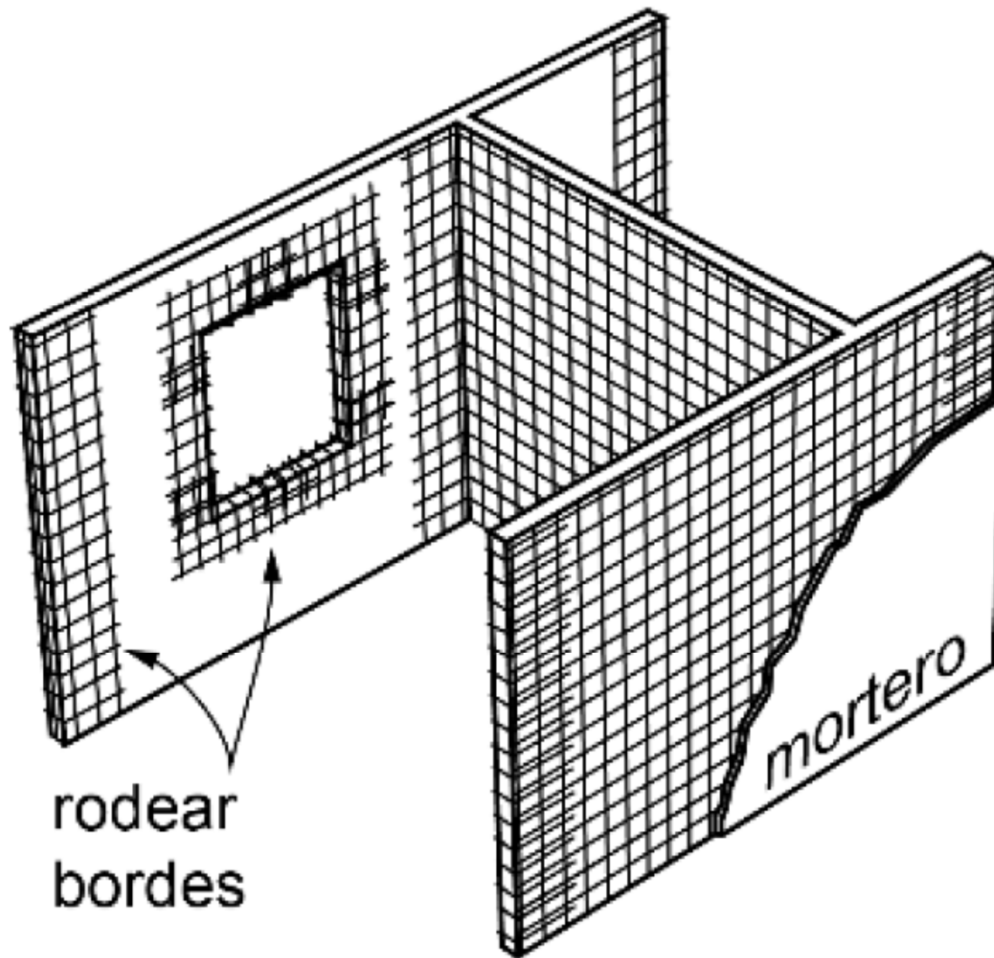
Daños y fallas observadas

Rehabilitación

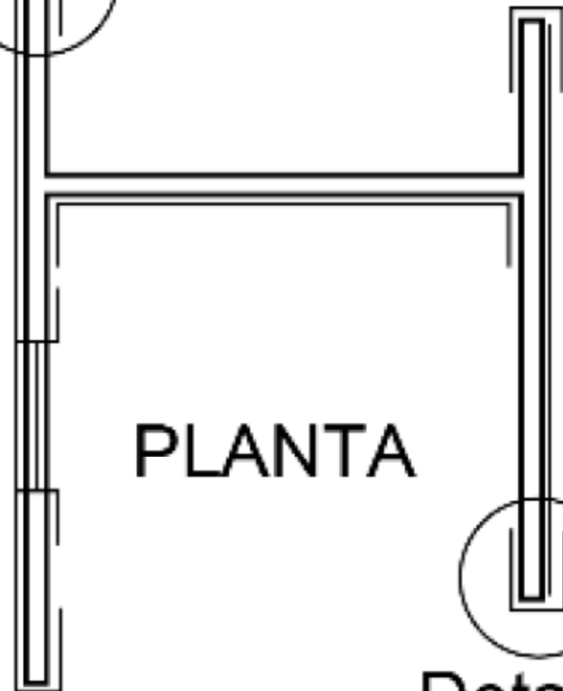




Daños y fallas observadas



Detalle 1



Detalle 2



Daños y fallas observadas

Reconstrucción Centro Escolar Juchitán



Edificios de concreto U2C





Daños y fallas observadas

Demolición



Reconstrucción





Daños y fallas observadas

Reconstrucción Regional





Estudios de vibración ambiental

Con el fin identificar las frecuencias de vibración más significativas para la calibración de modelos numéricos se midieron 14 edificios escolares





Estudios de vibración ambiental

Regionales



Suelo I y II

Edificios de concreto U2C



Suelo II

Relación del periodo (T) & número de pisos (N)

$$T_{\text{Regionales}} = 0.064 \text{ y } 0.095 \text{ N} \quad T_{\text{U2C}} = 0.043 \text{ y } 0.064 \text{ N}$$



Funciones empíricas de fragilidad

Se analizó la correlación entre **intensidades sísmicas & nivel de daño de los edificios**

Se estudiaron:

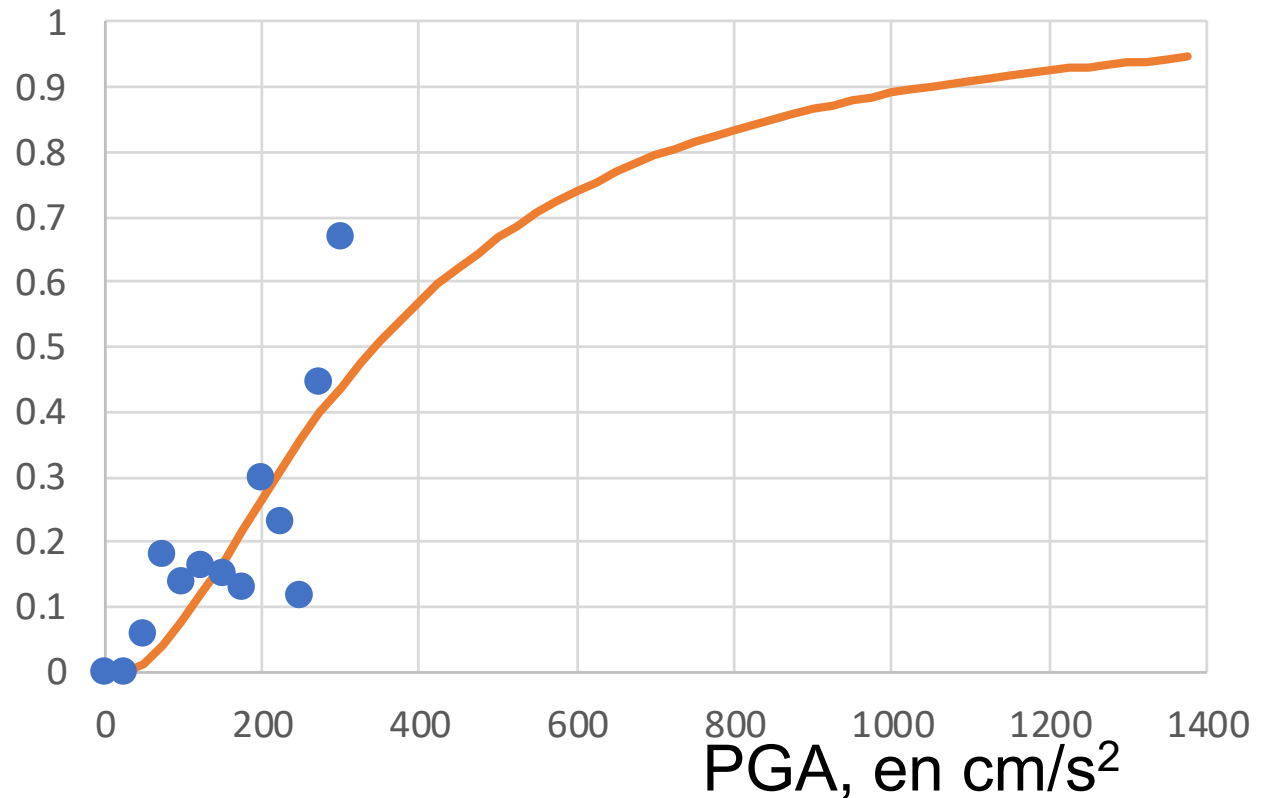
- **Regionales**
- **Edificios de concreto (U1C y U2C)**



Funciones empíricas de fragilidad

Funciones determinadas con base en la aceleración máxima del suelo (**PGA**) para **Regionales**

Probabilidad
daño severo



Tendencias consistentes con el comportamiento esperado
(Mayor intensidad, mayor prob. de daño más grave)

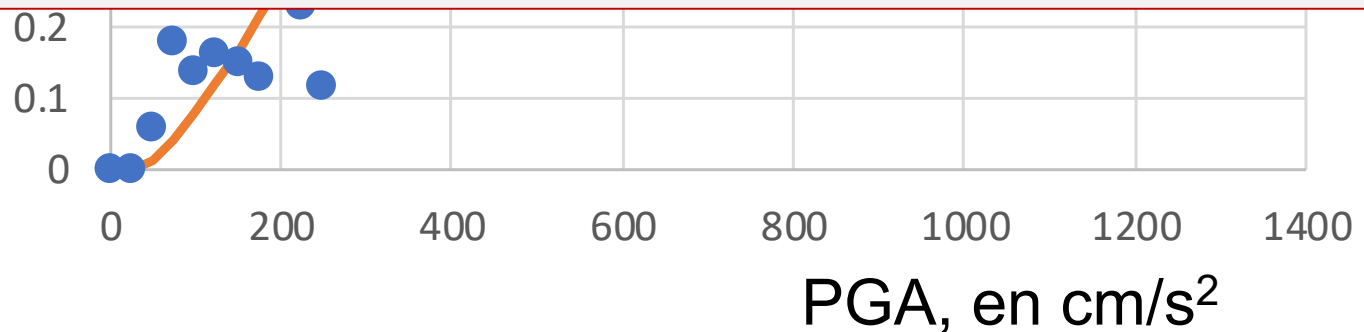


Funciones empíricas de fragilidad

Edificios de concreto (U1C, U2C y U3C)

No se encontró correlación entre la frecuencia del daño y la intensidad del daño.

Calidad deficiente de la información y número limitado de casos.





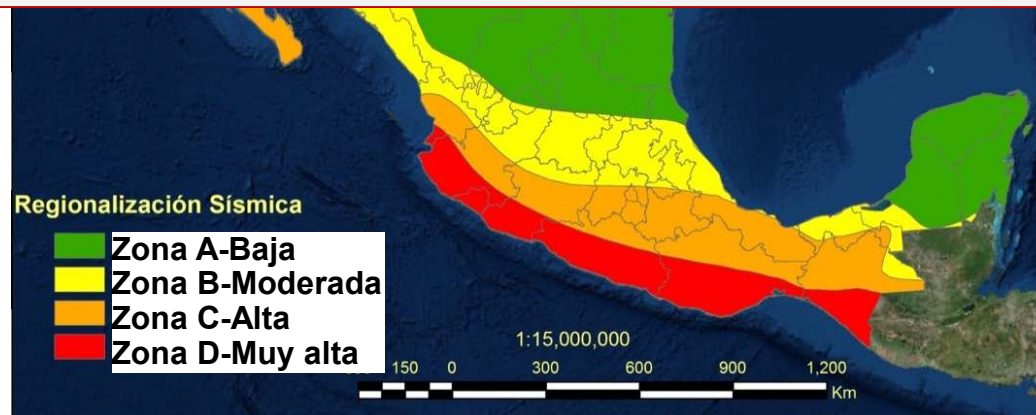
Modelos numéricos

Edificios índice estudiados numéricamente:

- **Regional 1 y 4 aulas**, sin y con rehabilitación (encamisado de muros), zonas sísmicas C y D
- **Edificios de concreto U1C y U2C** (pre-85: 1970, post-85: 2011, sin y con rehabilitación (MC y MM), zonas sísmicas B, C y D



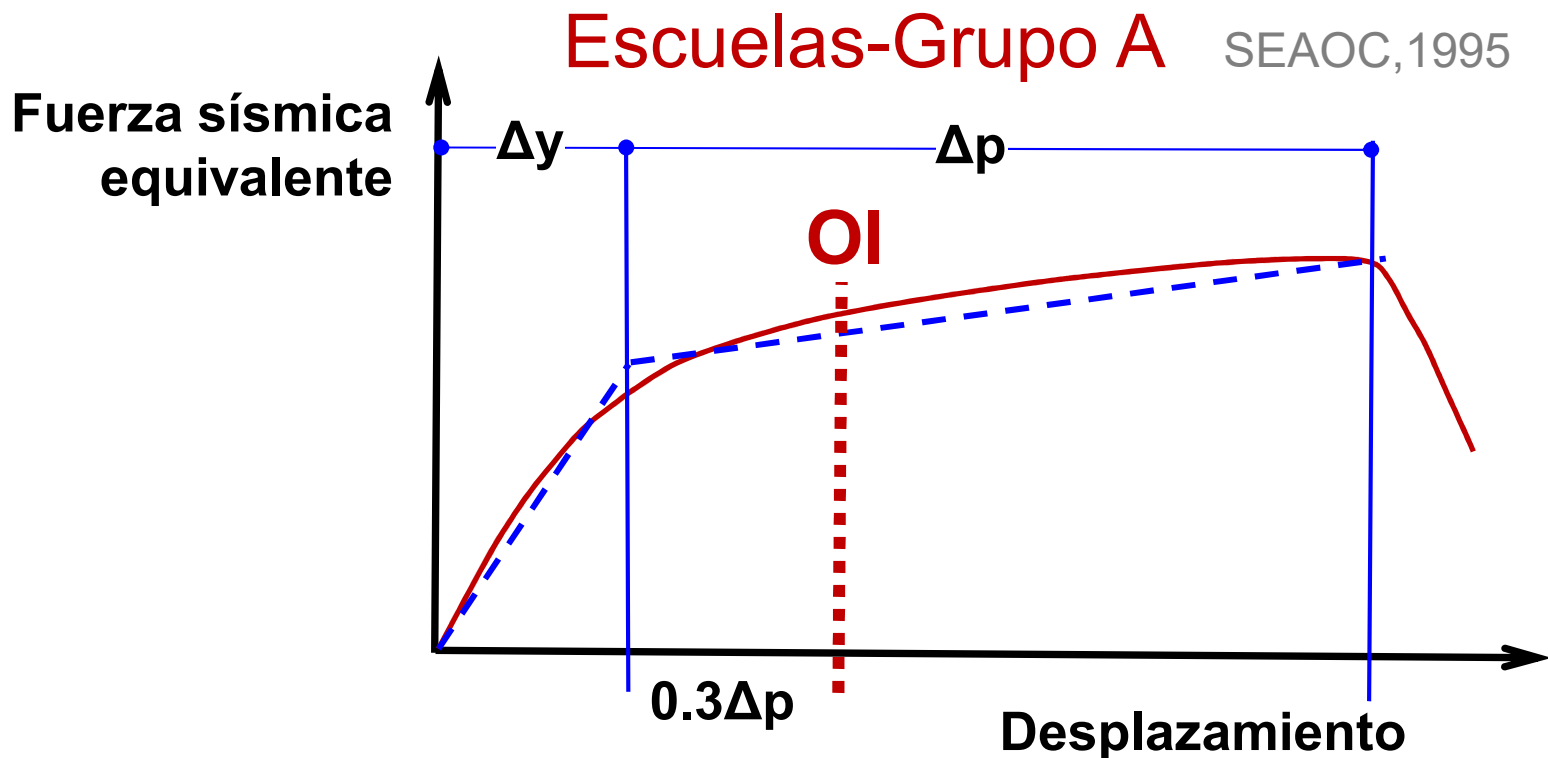
- **Regional 4 aulas, rehabilitada-encamisado de muros (EI4R)**





Modelos numéricos

El rendimiento del edificios índice se evaluó mediante análisis estáticos no lineales (curvas de capacidad: *push-over* y elastoplástica) Fajfar y Gaspersic, 1996; ASCE 41-17



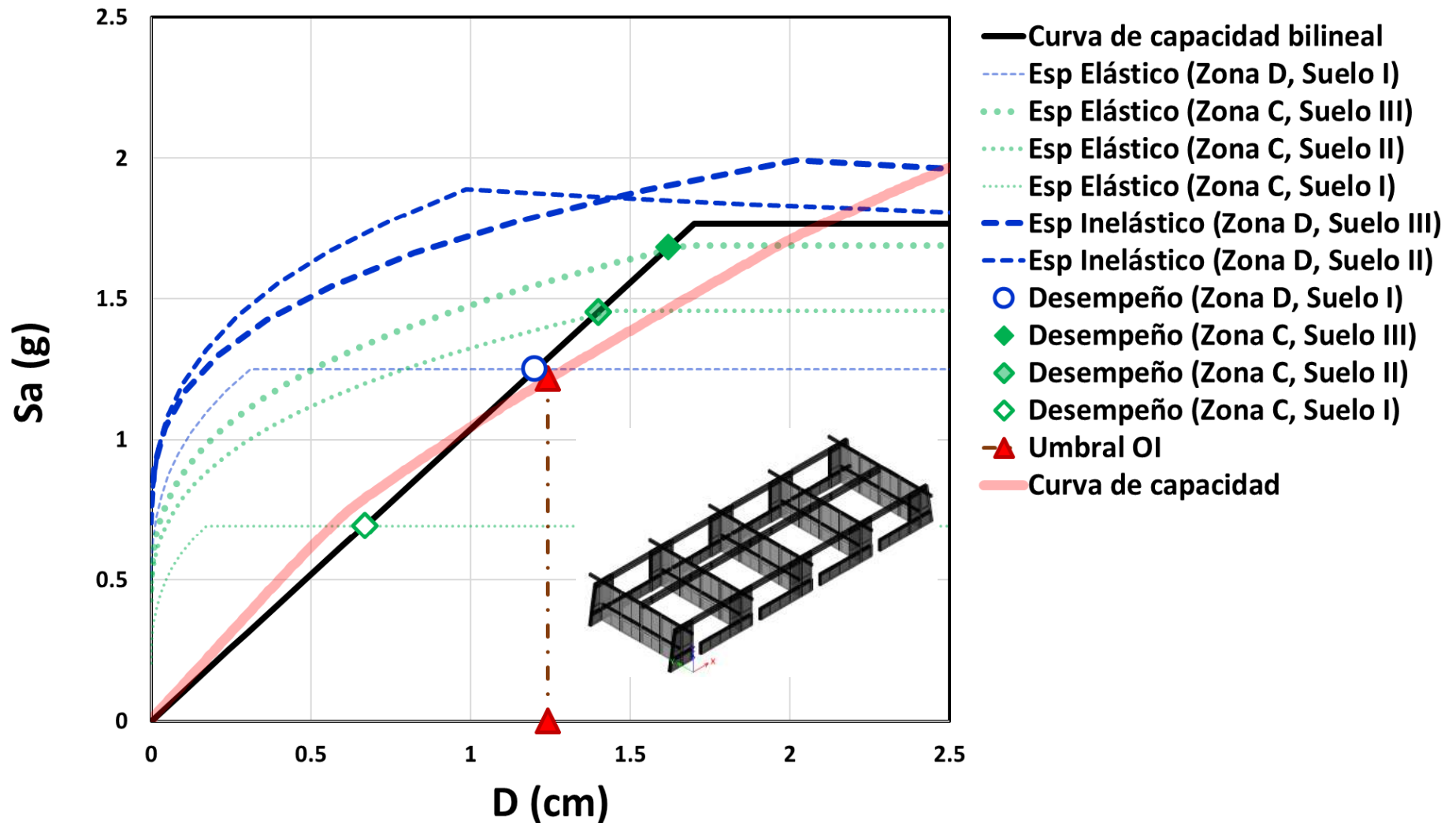
Las curvas se comparan con los espectros de diseño



Modelos numéricos

Desempeño sísmico de EI4R Zonas sísmicas C y D

Dirección X – menor densidad de muros

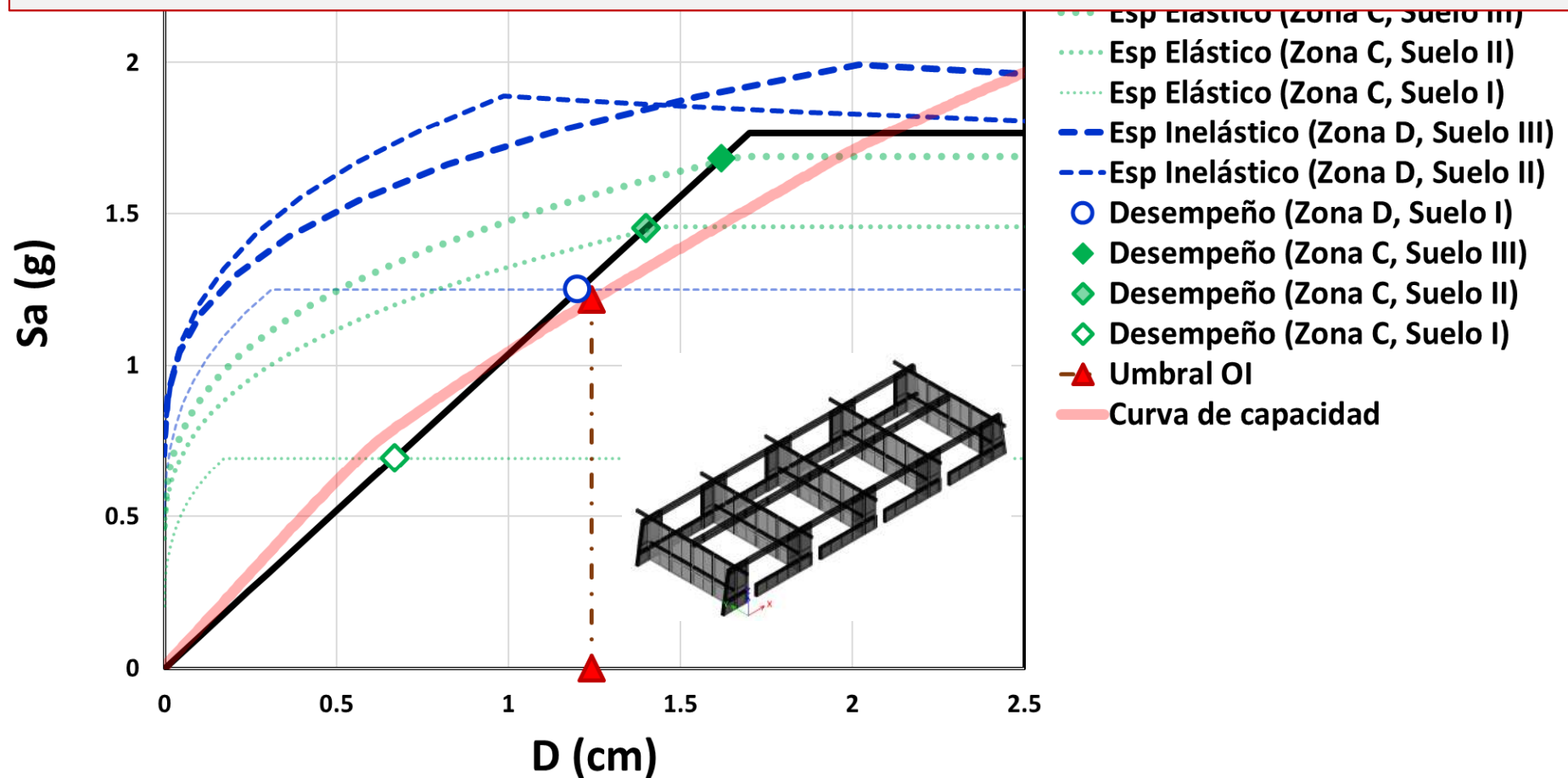




Modelos numéricos

Desempeño sísmico de EI4R Zonas sísmicas C y D

- Umbral **OI** superado en
 - Zona **C** y **D**, suelos II-III
- Revisar diseño **EI4R** para lograr nivel de desempeño **OI**





Conclusiones y recomendaciones

Edificaciones con buena calidad constructiva o modificaciones al sistema estructural revisadas por especialistas calificados en ingeniería, exhibió buen comportamiento

Con base en la información analizada, se proponen recomendaciones de política, técnicas, implementación, sostenibilidad y divulgación con el fin de:

- **Minimizar el riesgo sísmico escolar** (pérdidas humanas, materiales y funcionales)
- **Propuesta de estrategia para aumentar la resistencia sísmica** (rehabilitación bajo criterios modernos, mantenimiento supervisado y conservación sostenible)
- **Fortalecer la experiencia del INIFED y las entidades estatales de infraestructura escolar**
- **Implantar un programa de reducción del riesgo con énfasis en la prevención**



Conclusiones y recomendaciones

Para reducir gradualmente el riesgo sísmico, se recomienda una estrategia integral, sistemática y plurianual. Focalizada en los edificios previos a 1985 y edificios atípicos

Diseño, construcción, inspección, mantenimiento y conservación supervisado de escuelas respaldada con **guías y manuales**

Evaluación de la seguridad y rehabilitación de estructuras respaldada con **guías y manuales**

Capacitación y certificación de personal para contar con los especialistas calificados requeridos

Difundir las estrategias y acciones

(instancias de gobierno sobre infraestructura escolar; empresas de construcción, inspección y mantenimiento; así como autoridades escolares, padres y estudiantes)

MUCHAS GRACIAS

**Agradecimiento al INIFED (Leonardo Ramírez y Carlos Báez)
y al BM (Fernando Ramírez) por el apoyo financiero,
discusiones y contribuciones.
Al CONACYT por el apoyo financiero.**