

Cuantificación probabilística del daño sísmico en edificaciones a partir de acelerogramas

Yeudy Felipe Vargas A.



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y II Simposio interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre



Índice

- Proyecto KaIROS
- Estimación de la respuesta sísmica
- KaIROS software
- Caso de estudio, barrio el eixample
- Conclusiones



Proyecto KaIROS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y II Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.



KaIROS

- El proyecto KaIROS se enfoca en **desastres por terremotos**
- Su objetivo principal es **proporcionar metodologías y herramientas numéricas** avanzadas que sirvan para reducir el riesgo sísmico
- Se espera que ayude a **mantener y aumentar la resiliencia** y la **sostenibilidad** de las comunidades contra los terremotos
- El proyecto KaIROS cuenta con dos instituciones asociadas: **GEM y NTUA**

Vargas 2018



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y Il Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.



Marie Skłodowska-Curie Actions

- **MSCA** es un conjunto de subvenciones para investigación creadas por la Unión Europea/Comisión Europea para apoyar la investigación en el Espacio Europeo de Investigación (EEI)
- Redes de investigación (**ITN**): soporte para redes de formación innovadoras
- Becas individuales (**IF**): apoyo a investigadores experimentados que realizan movilidad entre países, opcionalmente al sector no académico
- Cooperación internacional e intersectorial a través de los intercambios de personal de investigación (**RISE**)
- Cofinanciación de programas regionales, nacionales e internacionales que financian becas que implican movilidad hacia o desde otro país



El proyecto KaiROS se financia mediante una IF



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y II Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.



Motivación

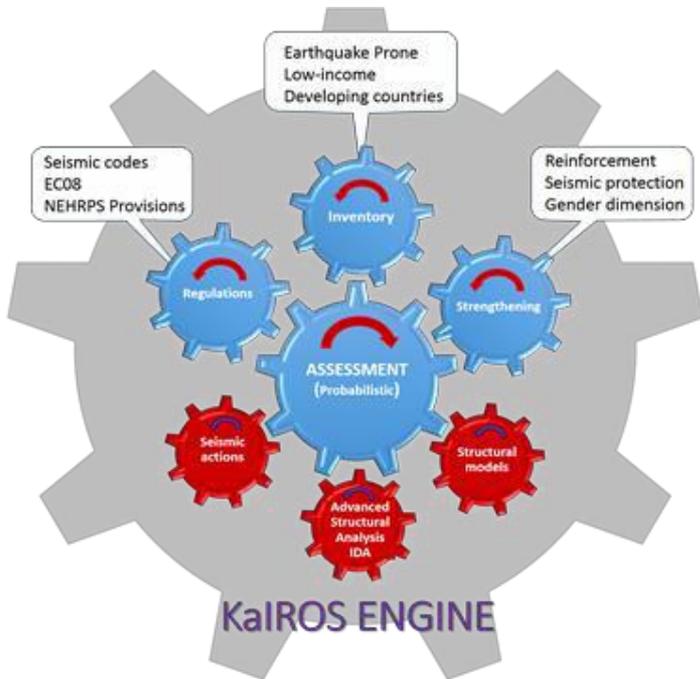
La **Agenda 2030** para el **Desarrollo Sostenible** incluye **17 objetivos** para acabar con la pobreza, combatir la desigualdad y la injusticia y hacer frente al cambio climático



El proyecto KalROS tendrá una influencia positiva en la igualdad de género (5), industria, innovación e infraestructura (9) y ciudades y comunidades sostenibles (10)

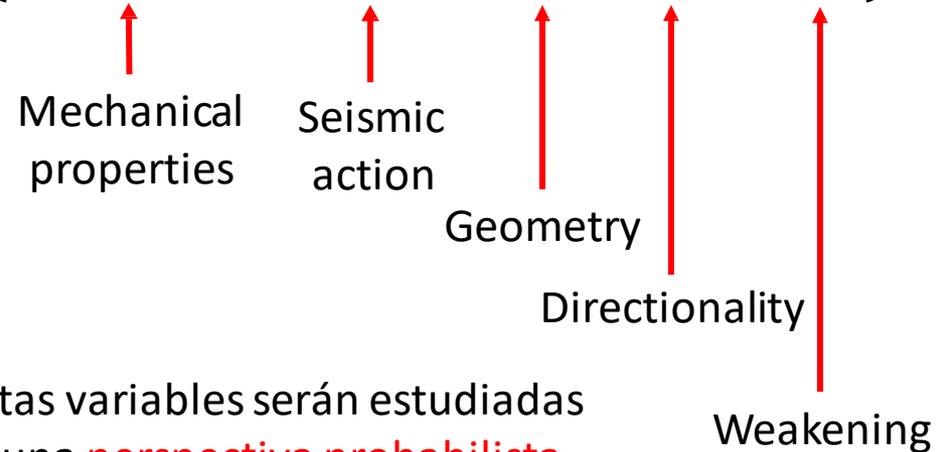


Resultados esperados



Esquema general del proyecto

$$DI(MPM, SA, GP, \theta, \delta S)$$



Todas estas variables serán estudiadas desde una **perspectiva probabilista**



ESTIMACIÓN DE LA REPUESTA SÍSMICA



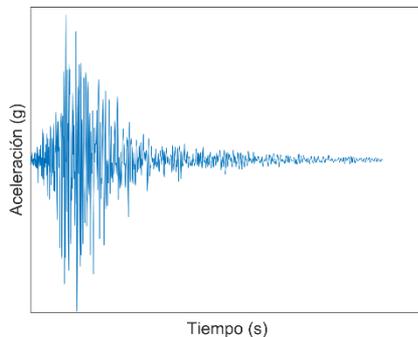
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y II Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.



Análisis Dinámico No Lineal (**ADNL**)

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K(u)u(t) = f(t)$$

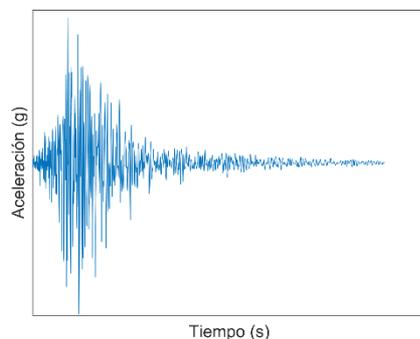


La acción sísmica se considera a partir de acelerogramas



Análisis Dinámico Lineal (ADL)

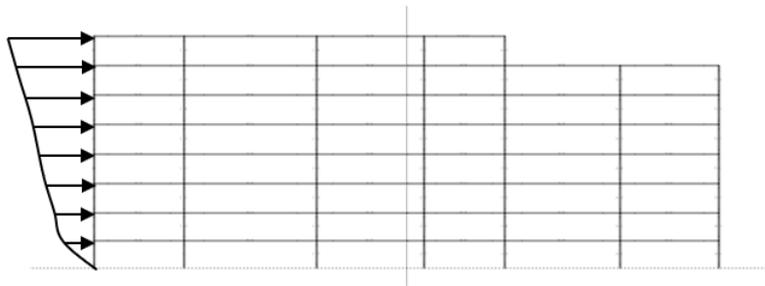
$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K \cancel{u}(t) = f(t)$$



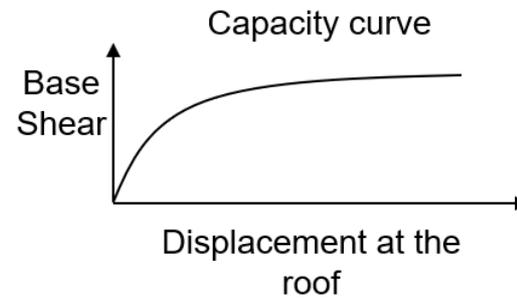
La acción sísmica se considera a partir de acelerogramas, pero no se tiene en cuenta la no linealidad de la respuesta estructural



Análisis de carga incremental (Pushover)



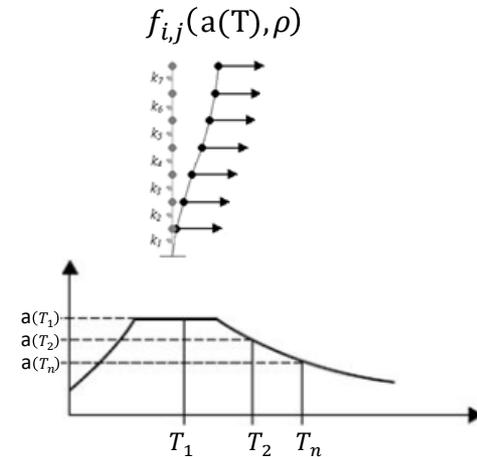
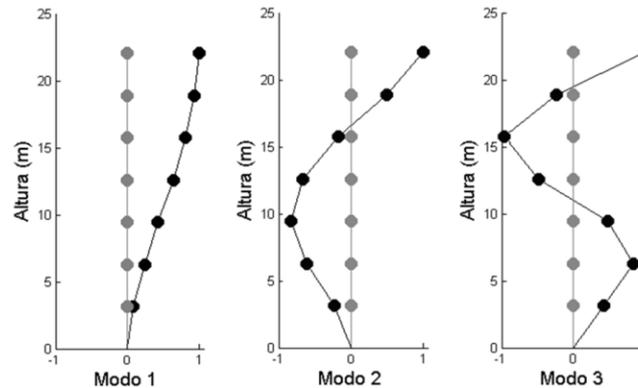
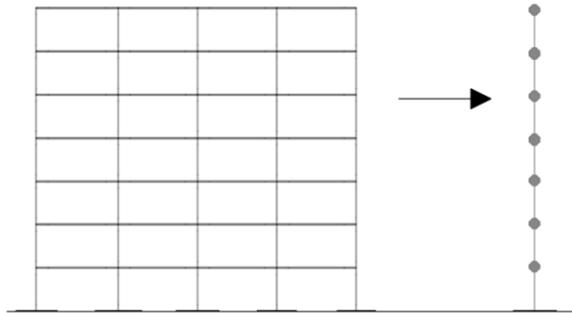
Pushover analysis



$$\cancel{M\ddot{u}(t)} + \cancel{C\dot{u}(t)} + K(u)u(t) = f(t)$$



Análisis modal espectral (AME)



Modelo masas concentradas

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K(u) = 0$$

Fuerza estática horizontal

La **matriz de masa** y **rigidez** sirven para calcular las **formas modales** y los **coeficientes de participación**



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y Il Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.



Tipos de análisis

MÉTODO	Respuesta no lineal	Respuesta temporal	Costo computacional
ADNL	Si	Si	Alto
ADL	No	Si	Alto
PUSHOVER	Si	No	Medio
AME	No	No	Medio
FHE	No	No	Bajo



KaIROS software



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y II Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.



KaIROS software

- Para estimar correctamente escenarios de riesgo sísmico, deben considerarse las **incertidumbres en la acción sísmica** y en las **características principales de las estructuras**
- En el proyecto KaIROS se desarrollará una **herramienta numérica** que considera las **incertidumbres** relacionadas con la **geometría de la estructura**, las **propiedades mecánicas de los materiales** y la **acción sísmica**, entre otros aspectos
- Esta herramienta se puede utilizar para estimar varios **parámetros de respuesta** que pueden estar relacionados con el daño sísmico de las estructuras
- Esta herramienta se desarrolla mediante la **implementación de un caso de estudio hipotético**

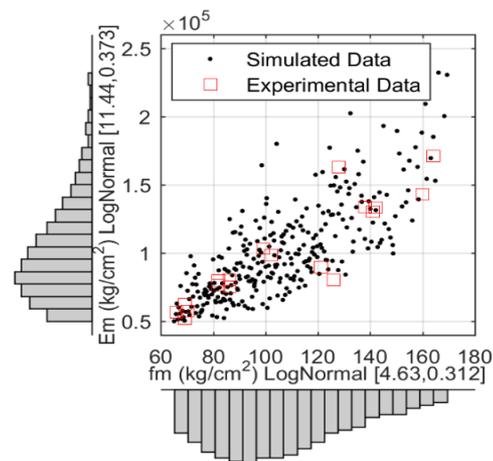
Vargas et al. 2019



Propiedades mecánicas de los materiales, MPM

Las cargas vivas, **LL**, las cargas superpuestas, **SL**, la resistencia a la compresión del hormigón, **fc**, la resistencia a la tracción del acero, **fy**, el módulo elástico del hormigón, **Ec**, y el módulo elástico del acero, **Es**, se consideran variables aleatorias

$$DI(MPM, SA, GP, \theta, \delta S)$$



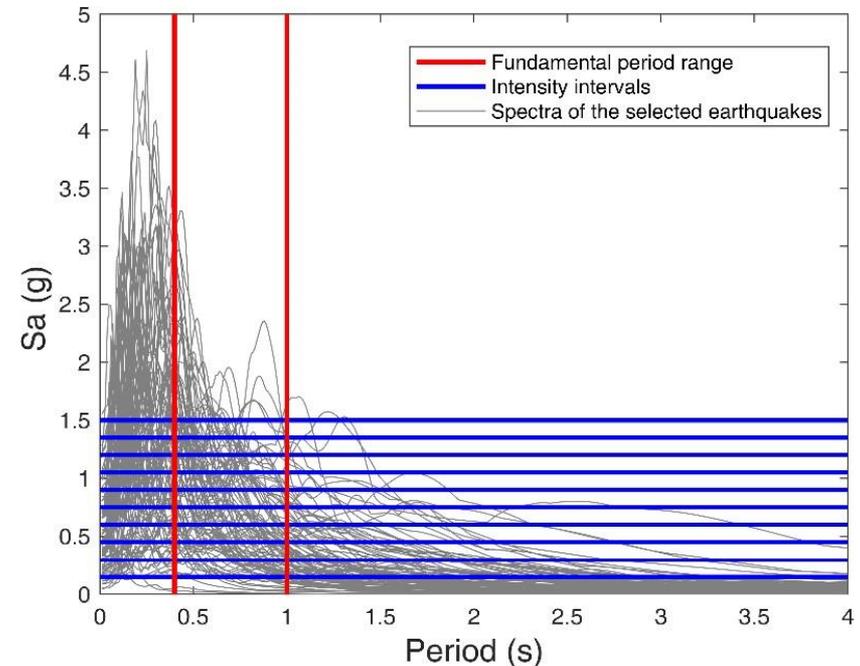
Correlation between elastic modulus and the strength capacity of the concrete



Acción sísmica

$$DI(MPM, SA, GP, \theta, \delta S)$$

- El requisito más importante es que los sismos seleccionados representen adecuadamente la sismicidad de la zona de estudio
- Se desarrollarán herramientas para seleccionar y escalar acelerogramas compatibles con espectros de respuesta específicos



Propiedades geométricas, GP

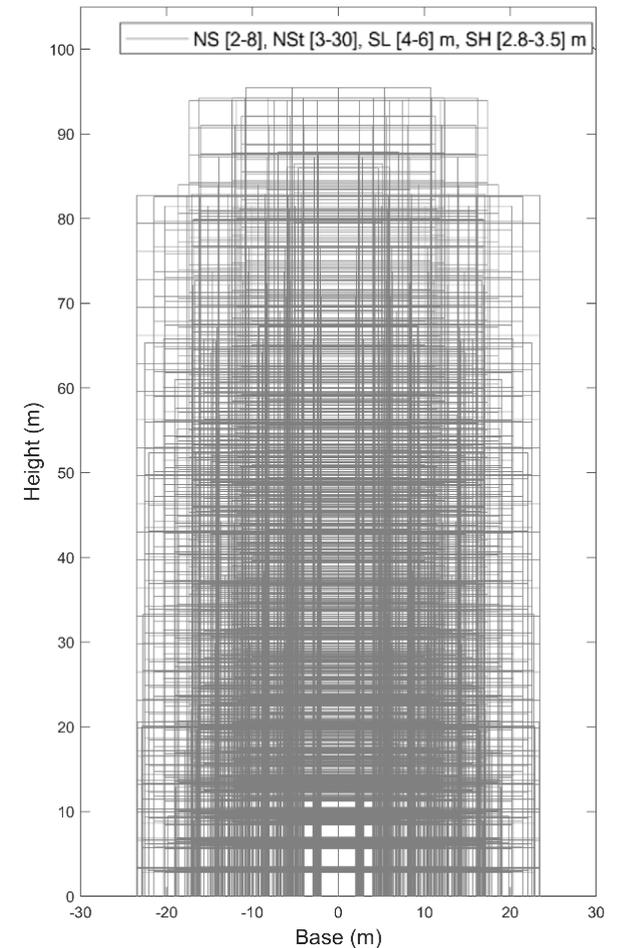
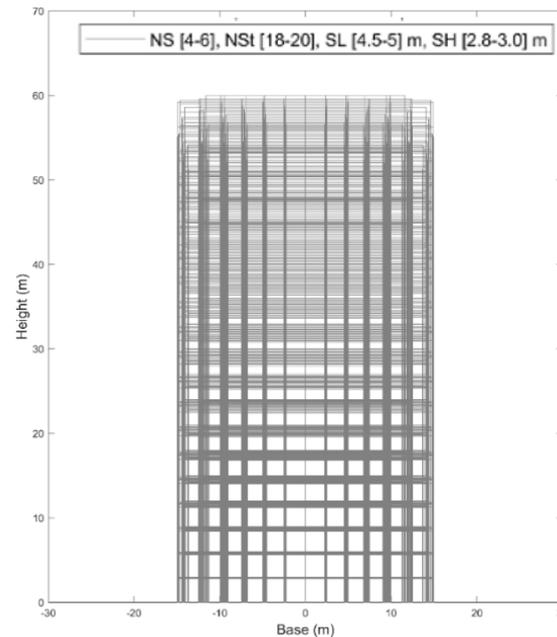
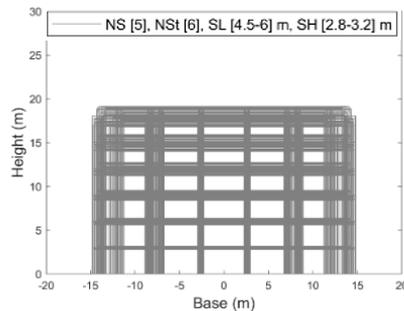
$$DI(MPM, SA, GP, \theta, \delta S)$$

NS: Number of **S**pans

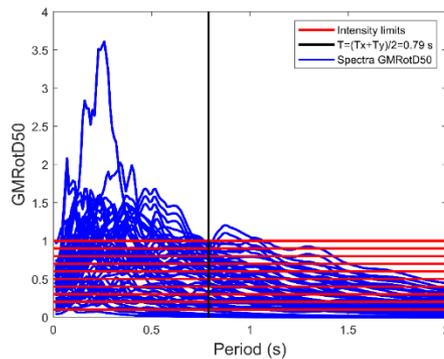
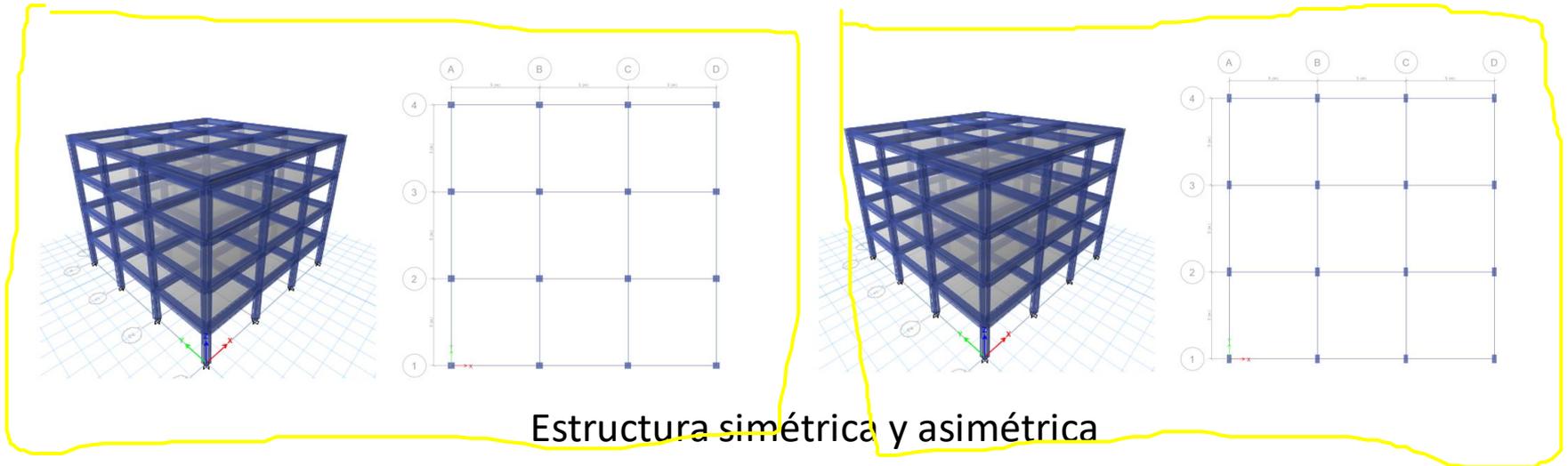
NSt: Number of **S**tores

SL: **S**pan **L**ength

SH: **S**tores **H**eight



Efecto de direccionalidad

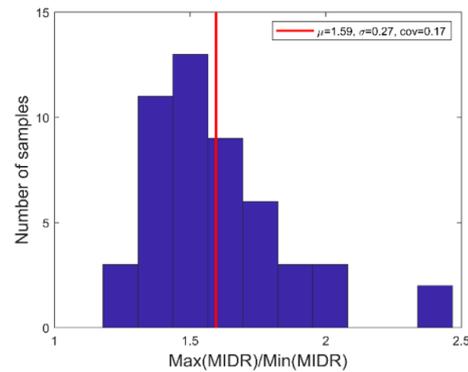
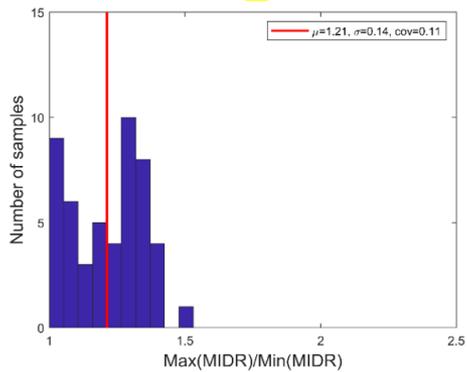
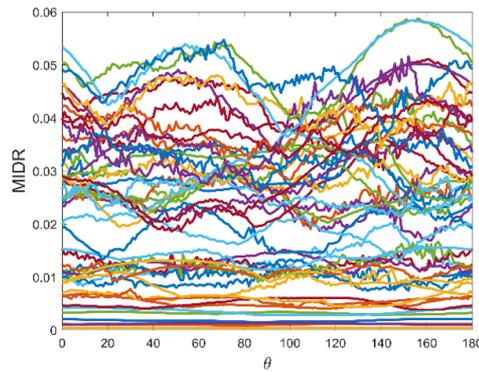
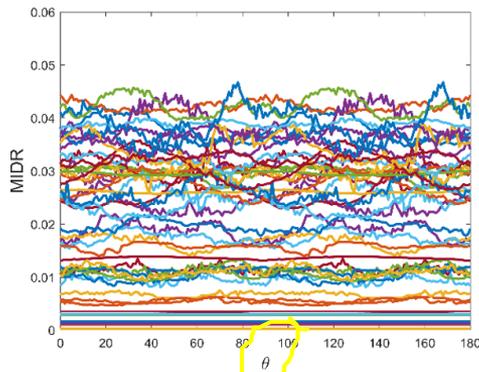


Acción sísmica

$$DI(MPM, SA, GP, \theta, \delta S)$$



Efecto de direccionalidad



$$DI(MPM, SA, GP, \theta, \delta S)$$

Respuesta estructural



Caso de estudio, barrio el eixample

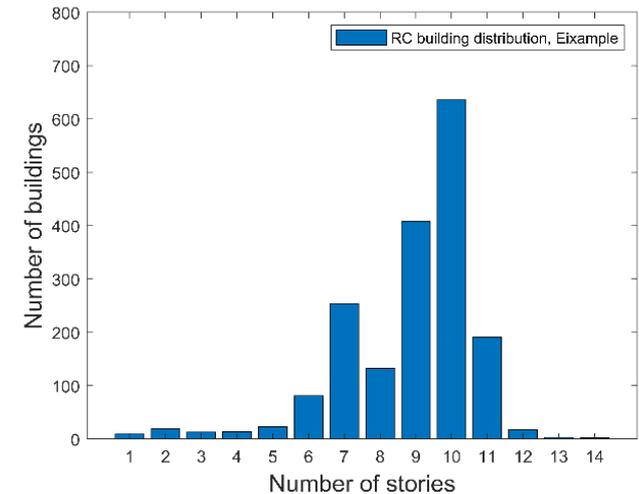
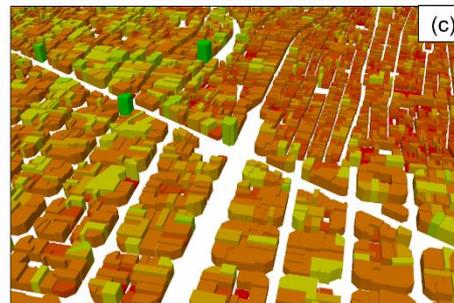
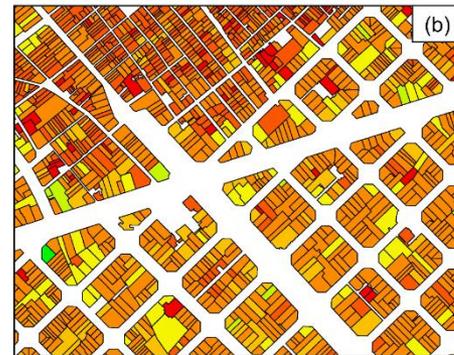
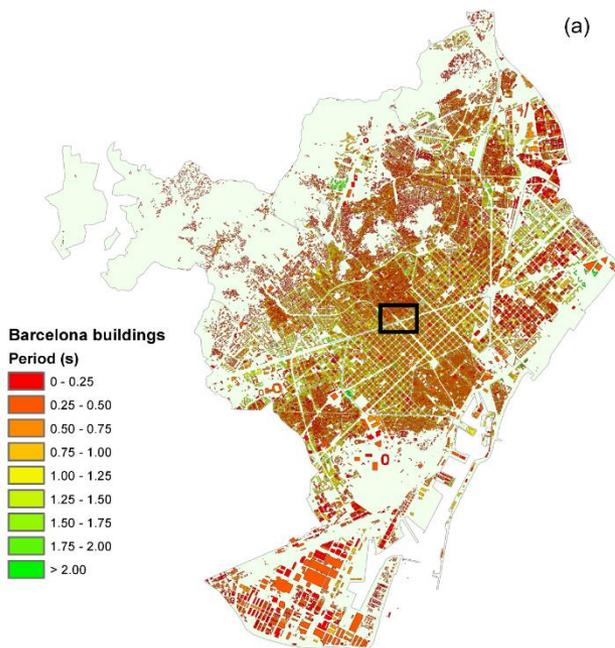


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

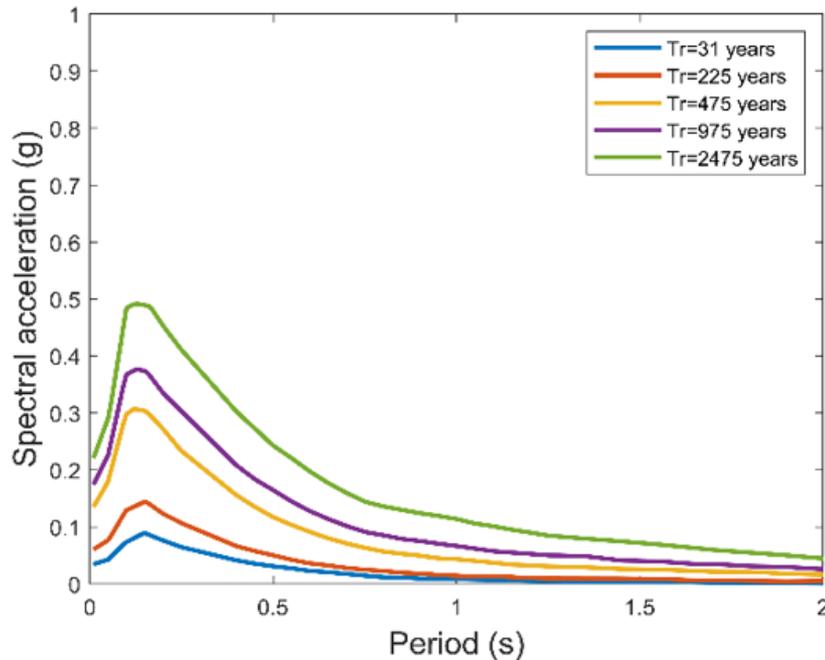
Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y II Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.



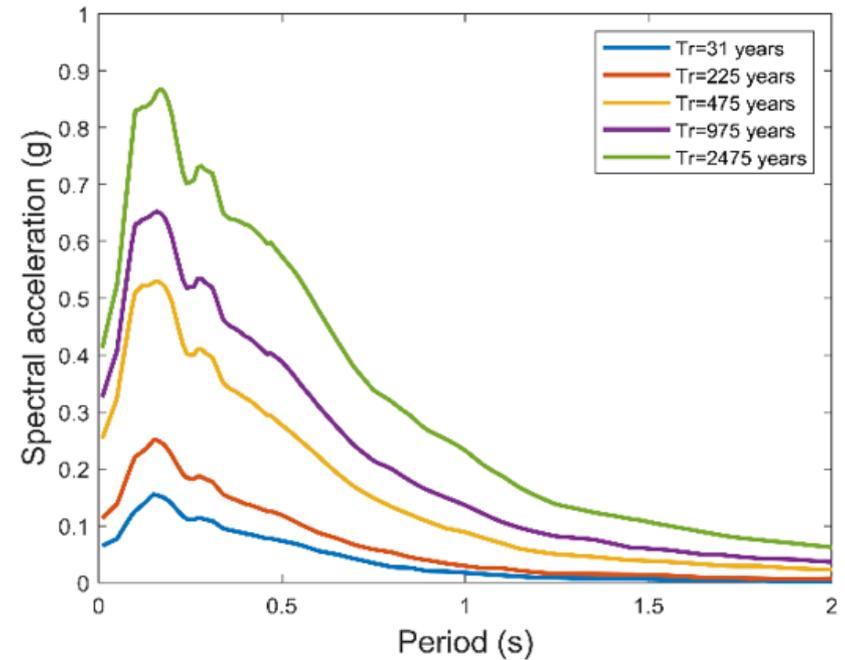
Barrio el Eixample



Espectros de amenaza uniforme



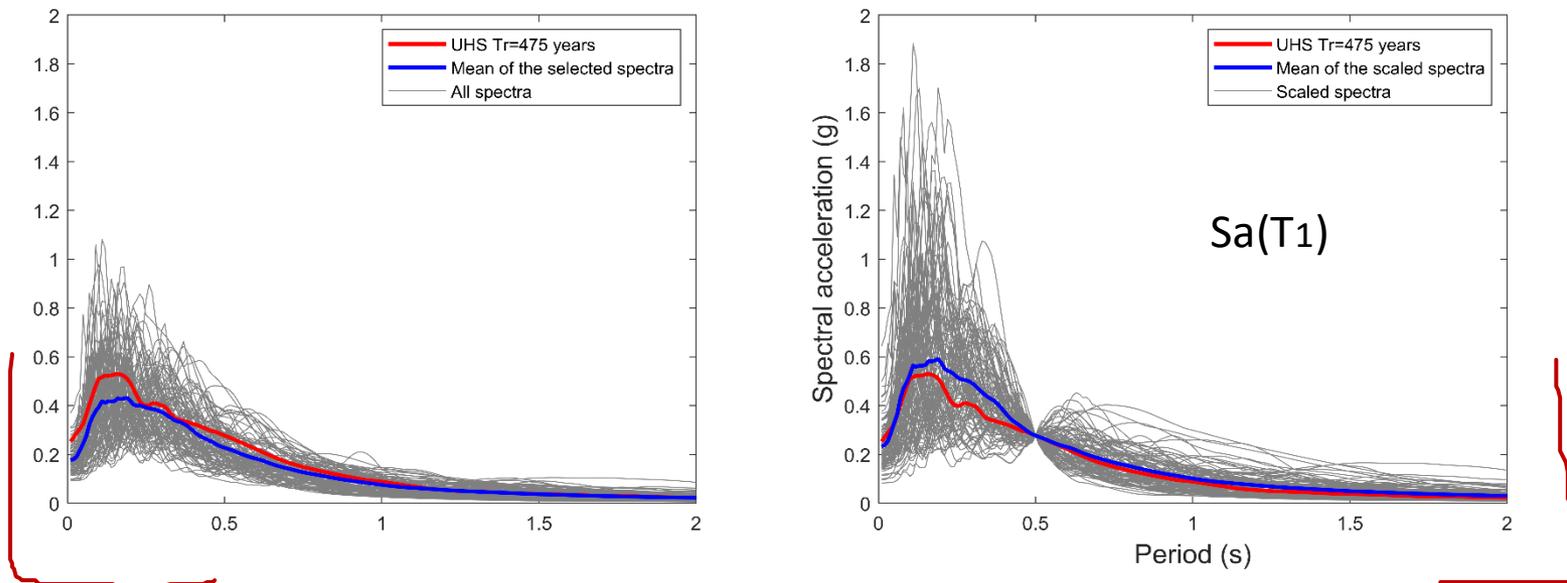
Salgado et al. 2016



Cid et al. 2002



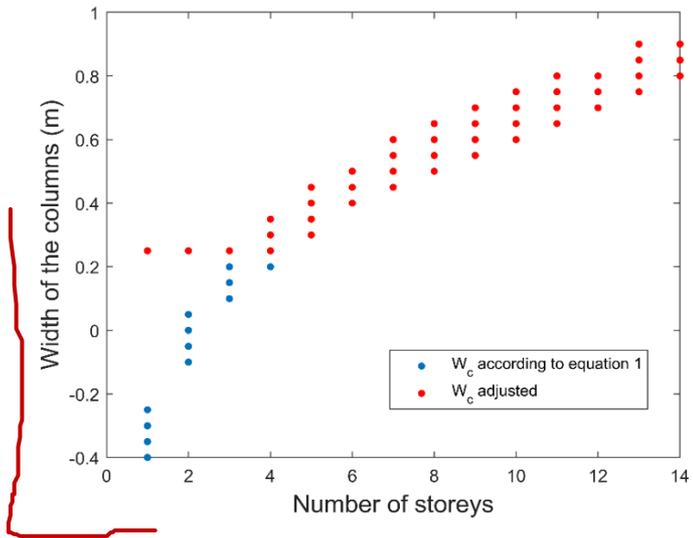
Espectro sismos seleccionados



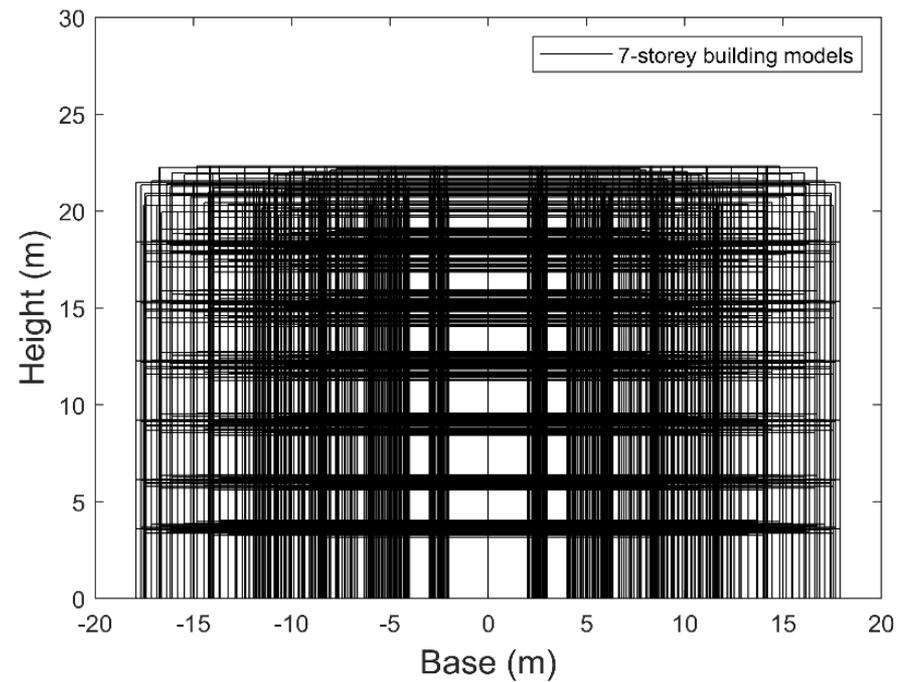
Preselección y escalado de registros sísmicos



Modelos estructurales



Variable	μ (kPa)	σ (kPa)
LL	1	0.15
SL	2	0.3
f_c	$2.1e4$	$2.1e3$
f_y	$4.2e6$	$4.2e5$
E_c	$2e7$	$2e6$
E_s	$2e8$	$2e7$



Índice de daño de Park y Ang

Damage state definition

$$DI_E = \frac{\mu_m}{\mu_u} + \frac{\beta E_h}{F_y \mu_u \delta_y}$$

$$DI_{PA} = \sum_i \lambda_i DI_E$$

Índice de daño de Park y Ang

	Identification	Condition
Null	DS_0	$DI_{PA}=0.00$
Slight	DS_1	$0.00 < DI_{PA} \leq 0.10$
Moderate	DS_2	$0.10 < DI_{PA} \leq 0.40$
Severe	DS_3	$0.40 < DI_{PA} \leq 0.65$
Complete	DS_4	$0.65 < DI_{PA} < 1.00$
Collapse	DS_5	$DI_{PA} \geq 1.0$



Probabilidad de daño esperado

	P_{DS_0}	P_{DS_1}	P_{DS_2}	P_{DS_3}	P_{DS_4}	P_{DS_5}
RC1	0.06	0.58	0.15	0.12	0.00	0.09
RC2	0.00	0.61	0.14	0.06	0.03	0.16
RC3	0.00	0.52	0.23	0.04	0.02	0.19
RC4	0.00	0.50	0.30	0.04	0.01	0.15
RC5	0.00	0.24	0.57	0.05	0.02	0.12
RC6	0.00	0.22	0.55	0.11	0.03	0.09
RC7	0.01	0.30	0.52	0.09	0.04	0.04
RC8	0.06	0.35	0.40	0.11	0.02	0.06
RC9	0.06	0.26	0.46	0.15	0.03	0.04
RC10	0.09	0.21	0.46	0.17	0.04	0.03
RC11	0.11	0.30	0.39	0.14	0.03	0.03
RC12	0.14	0.16	0.50	0.15	0.04	0.01
RC13	0.15	0.17	0.38	0.24	0.04	0.02
RC14	0.17	0.21	0.30	0.23	0.03	0.06

Probabilidad de ocurrencia para cada estado de daño



Conclusiones

- La clave para reducir el riesgo sísmico es **disminuir la vulnerabilidad de las estructuras existentes** y proporcionar **enfoques avanzados** para mejorar el **diseño de nuevas estructuras** y protegerlas contra eventos sísmicos
- La **capacidad actual de las computadoras**, combinada con la versatilidad que ofrecen los **métodos numéricos probabilísticos**, permite hacer frente a este desafío fundamental de la sociedad actual



Conclusiones

- Se ha desarrollado una herramienta numérica que permite llevar a cabo **análisis dinámicos no lineales** considerando varias **fuentes de incertidumbre**, como la geometría, las propiedades mecánicas de los materiales, entre otras
- Este software está siendo revisado y mejorado. Se espera que al final del proyecto KaIROS se cree una **versión interoperable**
- Esta herramienta podría usarse para desarrollar **modelos detallados de vulnerabilidad**



Referencias

- KaiROS Project (2019). Keeping and Increasing Resilience Opportunities and Sustainability of communities against earthquakes.

<https://cordis.europa.eu/project/rcn/215743/factsheet/en>

- Yeudy F. Vargas, Luís G. Pujades, José R. González-Drigo, Rodrigo E. Alva and Luis A. Pinzón (2019). On the equal approximation approximation from mid-rise reinforced concrete buildings. *7th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN, 2019.*



GRACIAS!



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Foro: 20 años del desastre por sismo en el Eje Cafetero y II Simposio
interdisciplinario e intersectorial sobre gestión de riesgos de desastres:
Cotidianidades, riesgos invisibles y recuperación post desastre.

