

A Physics-Based Seismic Hazard Model for Southern California

CyberShake, Southern California Earthquake Center

Juan Carlos Vergara Gallego
`jvergar2@eafit.edu.co`

Presentación disponible en: https://github.com/jvergar2/03_SCEC

Departamento de Ingeniería Civil
Universidad EAFIT

7 de octubre de 2014

Outline

Introduction

¿Qué se hace actualmente?

¿Con que información cuentan?

UCERF 2.0 y 3.0

Modelos de Velocidad

¿Qué hacen y cómo lo hacen?

Objetivos

Modelos Computacionales

Introducción

Se presenta un resumen del proyecto CyberShake, de sus objetivos y la forma como están abordando el problema de construir el modelo de Amenaza en el Sur de California.

<http://scec.usc.edu/scecpedia/CyberShake>

¿Qué es el CyberShake? I

CyberShake, es un proyecto de investigación del “Southern California Earthquake Center’s” (SCEC), dentro del cual se encuentran desarrollando un modelo computacional a gran escala para incluir determinísticamente el efecto de la fuente y la ruta de propagación de las ondas sísmicas en la amenaza sísmica del Sur de California.

¿Qué es el CyberShake?

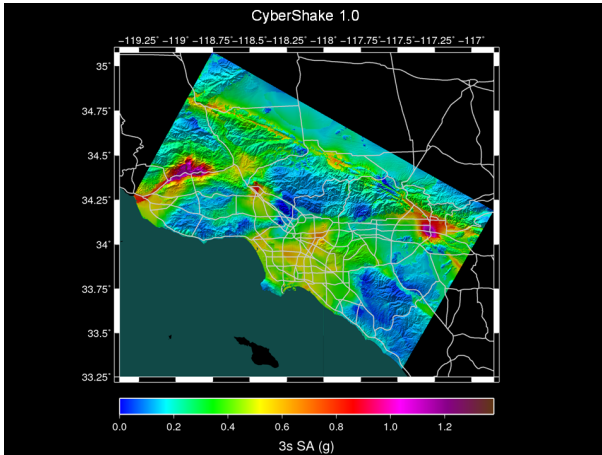


Figura. Mapa de amenaza sísmica del Sur de California calculado con CyberShake. ¹

¹ http://scec.usc.edu/scecwiki/images/6/61/CandB_2008.PNG

¿Qué es el CyberShake?

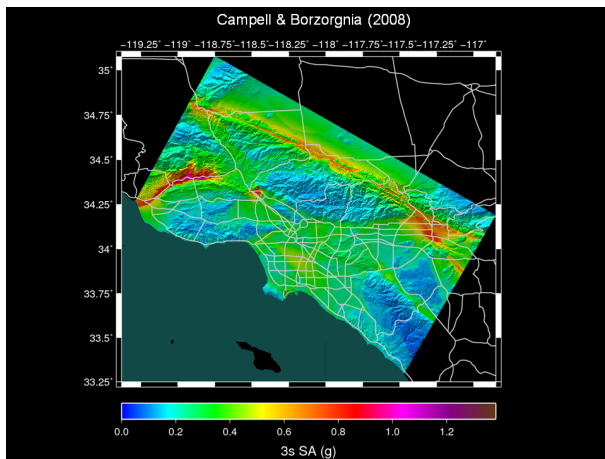


Figura. Mapa de amenaza sísmica del Sur de California calculado con las ecuaciones de predicción del movimiento del suelo (GMPE). ²

² http://scec.usc.edu/scecwiki/images/6/61/CandB_2008.PNG

Ground Motion Prediction Equations I

Las Ecuaciones de Predicción del Movimiento Sísmico del Suelo (GMPEs), especifican la probabilidad de excedencia del movimiento del suelo en un sitio particular para una fuente específica representada por un escenario de ruptura específico.

Las GMPEs entregan $S_a(T)$ para el 5 % de amortiguamiento.

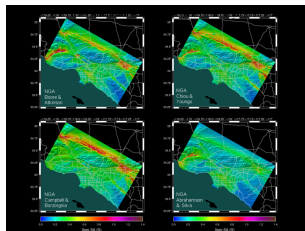


Figura. Mapa de amenaza sísmica del Sur de California calculado con cuatro ecuaciones de predicción del movimiento del suelo (GMPE) diferentes. ³

Ground Motion Prediction Equations II

A pesar de que las cuatro leyes de atenuación son aceptadas en la comunidad científica, es evidente las grandes diferencias entre ellas.

³http://scec.usc.edu/scecwiki/images/b/bd/UCERF2_GMPE_2007.PNG

Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2.0 y 3.0 (UCERF 2.0 y 3.0) I

El *UCERF3.0* estima la probabilidad de ocurrencia de sismos, para una magnitud específica y localización, que pueden ocurrir dentro de una ventana de tiempo en California EE.UU. La versión 3.0 es una mejora de la versión 2.0, dando la posibilidad de la ruptura simultanea de varias fallas y mejorando la sobreestimación que daba *UCERF2.0* para magnitudes entre 6.5 y 7.0.

Cuatro componentes básicos de *UCERF3.0*:

- ▶ Modelo de Falla: Geometría física de las fallas conocidas.
- ▶ Modelo de Deformación: “Taza de deslizamiento” de cada sección de la falla. Con esto se calcula el momento sísmico.
- ▶ “Earthquake Rate Model”: Taza de todos los sismos dentro de una región sobre una magnitud mínima especificada.

Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2.0 y 3.0 (UCERF 2.0 y 3.0) II

- Modelos de Probabilidad: Determina la probabilidad de ocurrencia de cada evento dentro de una ventana de tiempo.

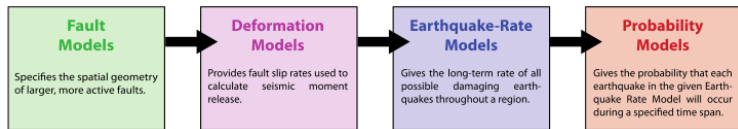


Figura. Componentes básicos del modelo UCERF3.0. [5, figura 2, página 7]

Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2.0 y 3.0 (UCERF 2.0 y 3.0) III

Con la información suministrada por *UCERF2.0* se identifican todas las posibles fallas sísmicas 200 *km* dentro de la región de estudio. Todas las fallas se usan para generar diferentes escenarios, dentro de los cuales se varía la ubicación del hypocentro y la forma de la ruptura.

En total se generan al rededor de 415.000 escenarios de ruptura para cada sitio.

Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2.0 y 3.0 (UCERF 2.0 y 3.0) IV

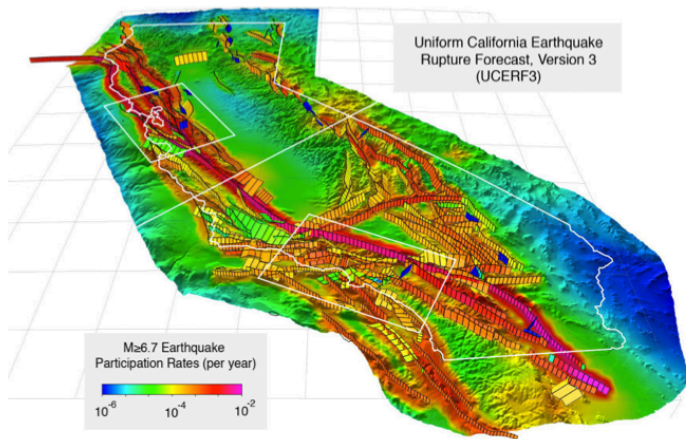


Figura. Mapa 3D de California, mostrando las 2606 fallas mapeadas en *UCERF3.0* [5, figura 1, página 5]

SCEC Community Velocity Model: CVM-S. I

El modelo de velocidad comunitario de California (CVM-S ⁴, por sus siglas en ingles), tiene como propósito servir como modelo de referencia en varias áreas de investigación que dependen de las estruclutras, propiedades de los materiales tales como la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, en profundidad para llevar acabo diferentes análisis. Las velocidades de mayor profundidad se construye con base reglas que relacionan la profundidad y la edad de los depósitos sedimentarios con las velocidades de las ondas sísmicas. Las velocidades de propagación en los depósitos menos profundos son tomadas de las medidas de los estudios geotécnicos. Las velocidades de propagación en roca son tomados de estudios tomográficos.

El modelo de velocidad CVM-S es de libre acceso, un usuario puede obtener los códigos escritos en Fortran, compilarlos y ejecutarlos en una máquina personal. El código se alimenta con un archivo de texto que contiene la latitud, longitud y profundidad de puntos donde se quiere conocer V_p , V_s y ρ .

SCEC Community Velocity Model: CVM-S. II

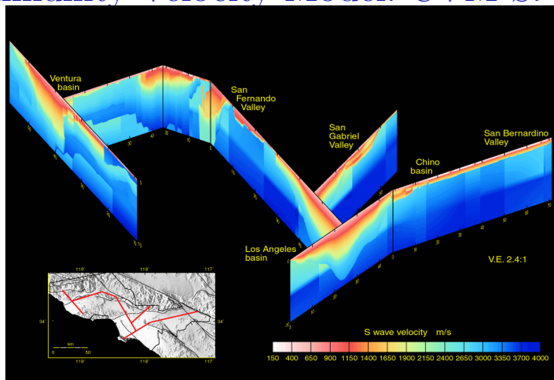


Figura. Secciones transversales de California mostrando la variación en profundidad de la velocidad.⁵

⁴Actualmente se encuentra disponible en línea la versión 4.0 de dicho modelo. <http://www.data.scec.org/research-tools/3d-velocity.html>, <http://scec.usc.edu/scecpedia/CVM-S>, último acceso 03 de Octubre de 2014.

⁵<http://scec.usc.edu/scecwiki/images/a/a7/CVM-S4.png>

SCEC Community Velocity Model: CVM-H. I

El Modelo de Velocidad Comunitario - Harvard (CVM-H ⁶, por sus siglas en ingles), se basa en ensayos de reflexión sísmica y “Borehole” para la estimación de la velocidad de propagación de la onda sísmica en puntos específicos. Dicha información se interpola en una malla bastante refinada cubriendo toda la región que se quiere estudiar. Adicionalmente contiene una descripción extensiva del modelo de velocidad en la región fuera de la costa (offshore).

SCEC Community Velocity Model: CVM-H. II

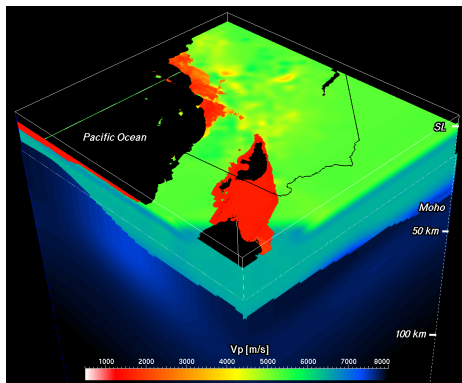


Figura. Perspectiva Modelo de Velocidad Comunitario - Harvard (CVM-H). ⁷

⁶ Actualmente se encuentra disponible en línea la versión 11.9.0 de dicho modelo.

<http://scec.usc.edu/scecpedia/CVM-H>

⁷ http://scec.usc.edu/scecwiki/images/a/a1/CVM64_perspective.png

Objetivos

Uno de los objetivos de CyberShake es mejorar las Ecuaciones de Predicción de Movimiento del Suelo (GMPEs), comúnmente usadas en ingeniería.

El objetivo principal, el objetivo más ambicioso, es remplazar por completo las leyes de atenuación con simulaciones a gran escala para la predicción de los movimientos sísmicos del suelo y con estos calcular los mapas de amenaza sísmica.

CyberShake se está desarrollando en el Sur de California, pero la metodología se puede aplicar en cualquier región del mundo donde se cuente con la información suficiente y se tengan los recursos computacionales.

Modelos computacionales

En un sitio particular, es necesario conocer la incidencia de varios eventos sísmicos, generados por diferentes sismofuentes, para poder generar unas curvas de amenaza sísmica lo suficientemente confiables.

Teniendo los modelos computacionales a gran escala, es posible generar cuantos eventos sísmicos sean necesarios y tener en cuenta la generación de sismos desde varios tipos de fuentes, tener en cuenta la incidencia de los factores tales como la ruta de propagación de las ondas, los efectos de fuente y sismos de diferentes magnitudes generados por una misma fuente.

En un sitio particular, CyberShake directamente muestrea la variabilidad del movimiento del suelo a partir de información de varios sismos (escenarios de ruptura) y elimina la necesidad de asumir que los procesos son ergódicos.

Procesos Ergódicos

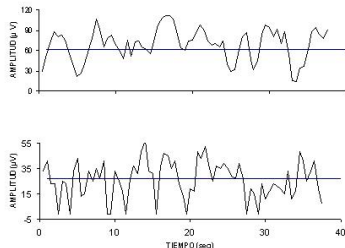


Figura. Definición gráfica de un proceso Ergódico. Imagen tomada de ⁸

Proceso Ergódico: Los promedios o medias hacia la derecha son iguales hacia abajo. Es lo mismo hallar los indicadores de un acelerograma que de varios.

⁸http://www.iga.cu/publicaciones/revista/cte_07/art_07-01/id28.htm

Discretización de la región de estudio

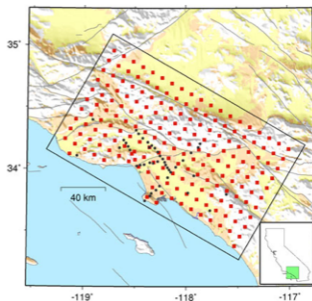


Figura. Mapa del Sur de California mostrando los puntos en los cuales se calculan las curvas de amenaza. [3, figura 1, página 3]

Dentro del proyecto CyberShake, se han simulado diferentes escenarios de ruptura y se han calculado las curvas de amenaza en 250 sitios en la región de Los Angeles, con lo cual tienen las bases para la generación de mapas de amenaza sísmica a partir de CyberShake.

¿Por qué no calcular las curvas de amenaza en los puntos de la malla en superficie? I

Dentro de la región de Los Angeles se tienen identificadas al rededor de 10.000 fallas que pueden generar sismos de intensidad mayor igual a 6.0 ($M_w \geq 6.0$) que pueden afectar la región bajo estudio.

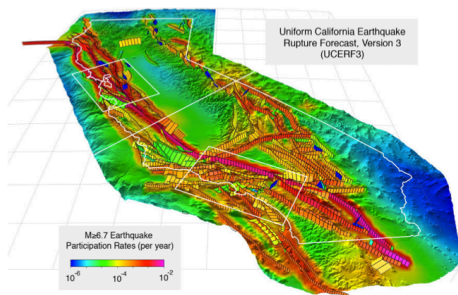


Figura. Mapa 3D de California, mostrando las 10.000 fallas mapeadas en *UCERF3.0* [5, figura 1, página 5]

¿Por qué no calcular las curvas de amenaza en los puntos de la malla en superficie? II

A partir de cada falla se generan diferentes escenarios, donde se varían factores tales como la ubicación del hipocentro, magnitud del evento y proceso de ruptura. Dentro de CyberShake se han generado al rededor de 415.000 escenarios diferentes.

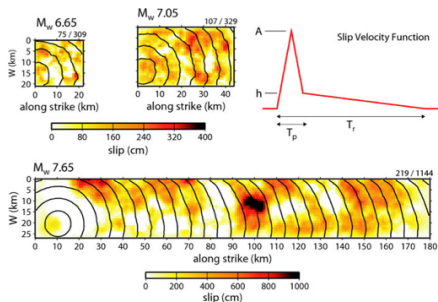


Figura. Cinemática para diferentes escenarios de ruptura.
[3, figura 4, página 7]

¿Por qué no calcular las curvas de amenaza en los puntos de la malla en superficie? III

Cada escenario diferente representa un modelo computacional diferente, por lo cual sería necesario analizar 415.000 modelos 3D a gran escala con los costos computacionales que esto representa y la cantidad de información que se genera.

¿Cómo se calculan las SGT? II

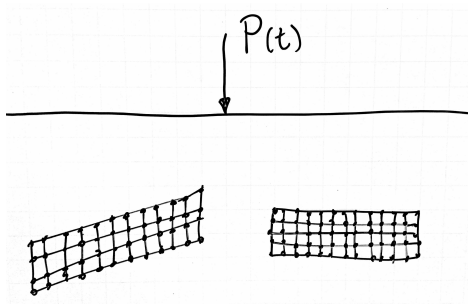


Figura. Cálculo de la funciones de Green

En cada uno de los 250 puntos en los que se discretiza la región se aplica un carga unitaria en dos direcciones ortogonales, cada carga aplicada es un análisis independiente y no se aplica la componente vertical pues dentro de CyberShake no están interesados en esta componente, y se calculan los tensores de deformación de Green sobre los puntos en los cuales se tienen discretizadas todas las fallas para cada una de las cargas.

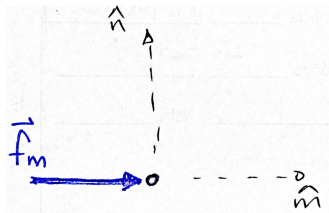
¿Cómo se calculan las SGT? III

Función de Green en Elastodinámica: Desplazamiento debido a una fuente puntual.

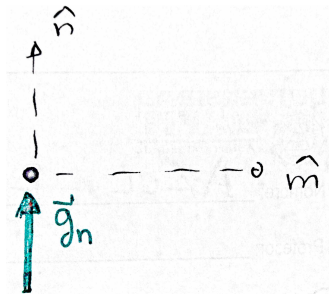
$$G_{in}(\vec{x}, t; \vec{\xi}, \tau) \text{ Función de Green}$$

Usando reciprocidad, los Tensores de Deformación de Green se usan para calcular los registros sintéticos en cada uno de los 250 sitios en los cuales fue discretizada la región para los diferentes escenarios de ruptura que se definieron anteriormente.

¿Cómo se calculan las SGT? IV






(a) Carga 1





(b) Carga 2

Figura. Reciprocidad

References I

-  Keiiti Aki & Paul G. Richards. Quantitative Seismology. University Science Books, 2nd Edition, Mill Valley, San Diego, 2002.
-  Baker, J. W., Luco, N., Abrahamson, N. A., Graves, R. W., Maechling, P. J., & Olsen, K. B. (2014, July). Engineering Uses of Physics-based Ground Motion Simulations. In Proceedings of the Tenth US Conference on Earthquake Engineering.
-  Graves, R.; Jordan, T. H.; Callaghan, S.; Deelman, E.; Field, E.; Juve, G.; ... & Vahi, K. (2011). CyberShake: A physics-based seismic hazard model for southern California. Pure and Applied Geophysics, 168(3-4), 367-381.

References II

-  Field, E. H., Dawson, T. E., Felzer, K. R., Frankel, A. D., Gupta, V., Jordan, T. H., ... & Wills, C. J. (2009). Uniform California earthquake rupture forecast, version 2 (UCERF 2). Bulletin of the Seismological Society of America, 99(4), 2053-2107.
-  Field, E.H., Biasi, G.P., Bird, P., Dawson, T.E., Felzer, K.R., Jackson, D.D., Johnson, K.M., Jordan, T.H., Madden, C., Michael, A.J., Milner, K.R., Page, M.T., Parsons, T., Powers, P.M., Shaw, B.E., Thatcher, W.R., Weldon, R.J., II, and Zeng, Y., 2013, Uniform California earthquake rupture forecast, version 3 (UCERF3)—The time-independent model: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1165, 97 p., California Geological Survey Special Report 228, and Southern California Earthquake Center Publication 1792,
<http://pubs.usgs.gov/of/2013/1165/>.