

Amenaza sísmica por método determinista en el triángulo de fallas Valera-Boconó-Oca en el occidente de Venezuela

RAYMI A. CASTILLA, FRANK A. AUDERMARD M. Y JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ

Departamento de Ciencias de la Tierra, Funvisis, El Llanito, Caracas, Venezuela, rcastilla@funvisis.org.ve

RESUMEN

El desarrollo de múltiples proyectos de geología de fallas activas en Venezuela ha permitido que el país cuente hoy día con una base de datos completa y de gran calidad, usada como complemento a la información instrumental en los cálculos de amenaza sísmica del país con métodos probabilistas. En el presente trabajo se utiliza esta información geológica disponible para realizar cálculos de amenaza con métodos deterministas para luego comparar los resultados y proponer la implantación de metodologías mixtas que permitan aprovechar mejor los datos, tanto en la ventana instrumental como en la geológica. Sobre la base de disponibilidad de información publicada y de complejidad en la geometría de las mayores estructuras, se ha escogido una zona del occidente del país limitada por las fallas de Valera, Boconó y Oca.

Se utilizan sismos máximos creíbles de cada falla, distancias mínimas a la superficie de ruptura y las leyes de atenuación necesarios para crear un marco multiescenario combinando todas las estructuras que puedan, potencialmente, generar amenaza. La zona de estudio, con un área aproximada de 45.000 km² que incluye tres capitales de estado y una actividad industrial importante, es cubierta con una red espaciada cada 5 kilómetros para el cálculo de los valores de aceleración.

Los resultados se muestran en mapas con áreas de isoaceleraciones donde se puede observar un control marcado de la geometría de las fallas activas sobre los valores de aceleración esperados, por encima de la sismicidad asociada a cada una de ellas. A diferencia de los métodos de uso más extendido, el cálculo por métodos deterministas no permite la visualización de probabilidades de no excedencia, pero permite analizar escenarios de amenaza asociada a fallas que presenten poca sismicidad en la ventana instrumental.

PALABRAS CLAVE: AMENAZA SÍSMICA, PROBABILISTA, DETERMINISTA, VALOR B, BOCONÓ, VALERA, OCA, VENEZUELA

ABSTRACT

The development of several studies regarding active faults geology has allowed us to build a complete database which is used together with the instrumental catalog, in the probabilistic seismic hazard assessment (PSHA). The geologic data is used here to develop a deterministic seismic hazard assessment (DSHA) and then the results are compared with former PSHA results to propose hybrid approaches that lead us to make good use of all the available information.

Maximum credible earthquakes and minimum actual distances to the rupture surfaces are used with the attenuation relationships to create a scenario describing the hazard in terms of the maximum acceleration. These strong ground motion values are the result of the maximum earthquake that could be triggered by the faults in the area. The whole zone, including three main cities and important economic activities, is covered in this study by a grid with points every 5 km.

The results are shown in acceleration maps, where the maximum values follow the active faults trends. When the return period of the maximum credible earthquake is included in the analysis this correlation changes and a more likely scenario is created. The pros and cons of both approaches were analyzed in terms of the available data for Venezuela. This has shown that more efforts must be done in the treatment and processing of the data and in the design and application of better methodologies as well.

KEY WORDS: SEISMIC HAZARD, PROBABILISTIC, DETERMINISTIC, B-VALUE, BOCONÓ, VALERA, OCA, VENEZUELA

METODOLOGÍA

Se ha realizado un análisis del catálogo sísmico nacional en términos del valor *b* y de la relación Gutenberg-Richter para evaluar las

limitaciones que pudieran estar asociadas a la utilización de dicha base de datos en los cálculos de amenaza sísmica que se realizan en el país. Dicho análisis se ha concentrado en las variaciones de estos

parámetros a través del tiempo y en la consideración que dichas variaciones son el producto de cambios en la instrumentación, y no de cambios naturales en el comportamiento de la sismicidad del país.

Se realizaron también dos ensayos de cálculo de amenaza sísmica por métodos deterministas, los cuales han permitido, de manera similar al caso anterior, exponer las ventajas y desventajas, así como las limitaciones que el método impone. Para este fin se ha tomado la información de geología de fallas activas hasta ahora generada en el país, en términos de sismos máximos creíbles con sus respectivos períodos de retorno, la ubicación de todas las fallas y su segmentación (Audemard *et al.*, 2000).

Se utilizó la metodología clásica (figura 1) para el enfoque determinista (Krinitzky, 1995; Reiter, 1990 y otros) con la diferencia que, en el presente ensayo, se toman en cuenta múltiples puntos para generar una malla y mapas de isoaceleraciones.

En ambos casos se ha escogido una retícula de 5 km de espaciamiento, y para todos los puntos se ha calculado la aceleración que produce cada falla al desencadenar su sismo máximo probable. Usando como parámetro de distancia, la mínima entre el punto y la falla, dichos valores de aceleración son comparados entre sí para escoger el máximo y asignarlo al punto.

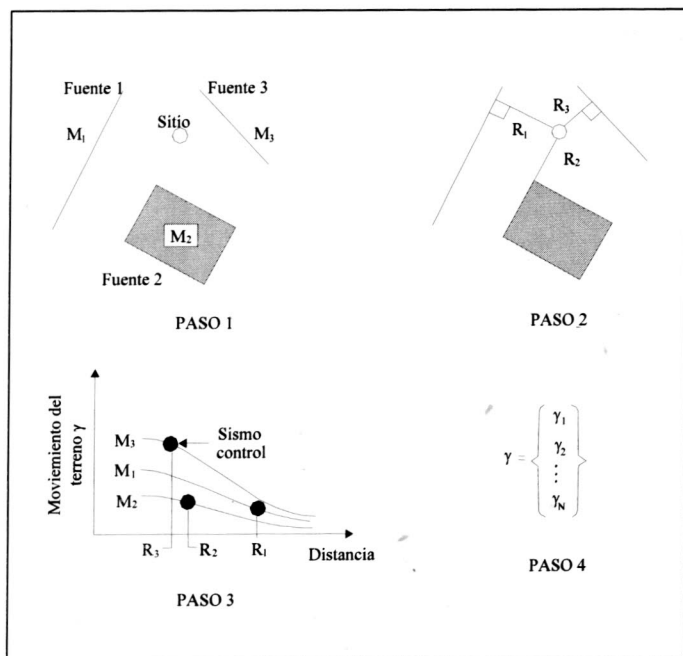


Figura 1. Etapas básicas del análisis de amenaza sísmica por medio del enfoque probabilista. Modificado de Smit (2002).

Para considerar el período de retorno de cada uno de los sismos máximos probables, se multiplicó la aceleración por la frecuencia anual de dicho evento. De esta manera se obtiene un valor considerado adimensional, utilizado sólo para escoger el valor de aceleración máxima que muy probablemente afectaría a cada punto.

MÉTODO PROBABILISTA Y EL CATÁLOGO SÍSMICO NACIONAL

En Venezuela, la sismicidad puede ser considerada moderada cuando se le compara dentro de un contexto mundial (Romero *et al.*, 1999). El 72,4% del catálogo instrumental, desde 1910 hasta hoy, corresponde a sismos con magnitudes $3 < m_b < 4.5$ (figura 2). La ocurrencia de sismos fuertes (> 6.0) en estos 92 años, sólo constituye un 0,46% del total del catálogo. No obstante, al ampliar la ventana a observaciones históricas (desde 1530 hasta hoy), se obtiene un registro de 16 sismos destructores con pérdidas materiales y de vidas humanas.

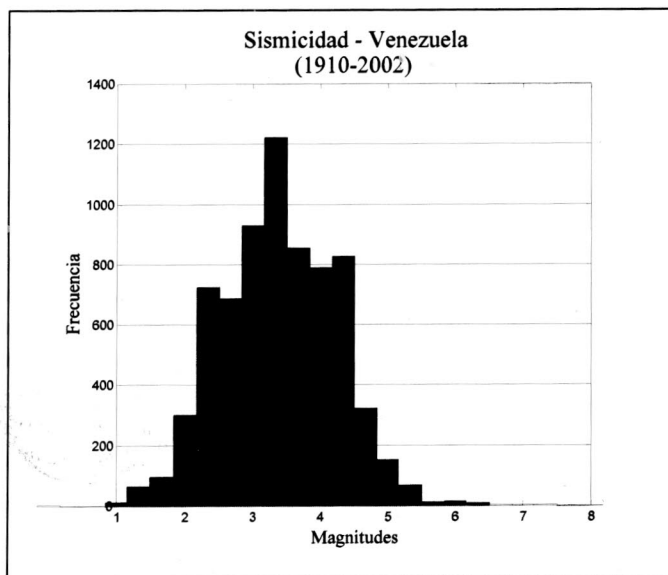


Figura 2. Distribución de sismicidad instrumental en Venezuela, según la magnitud.

La figura 3 muestra la distribución de los epicentros en el catálogo de sismicidad, discriminados según su magnitud y la profundidad hipocentral, respectivamente. En las mencionadas figuras se puede observar el marcado control que ejerce la presencia de las fallas más importantes en la concentración de la mayoría de los epicentros para eventos registrados en el catálogo.

El catálogo instrumental puede ser dividido en tres períodos que reflejan, en diversos sentidos, las distintas etapas evolutivas de la red sismológica nacional. El primer período, comprendido entre 1901 y 1982, durante el cual son puestos en funcionamiento distintos sismógrafos para monitoreo. Para el momento de la creación de Funvisis, luego del sismo de Caracas de 1967, existían 8 estaciones sismológicas con operadores en sitio, pertenecientes a distintos organismos (Rendón, 1997).

El segundo período comienza en 1981 cuando se inicia el Proyecto Resvac, que permitiría la incorporación de las estaciones convencionales existentes a una red con 10 estaciones telemétricas de sensores de período corto distribuidas en la región central. El arreglo resultante de este proyecto, junto con otras redes de carácter re-

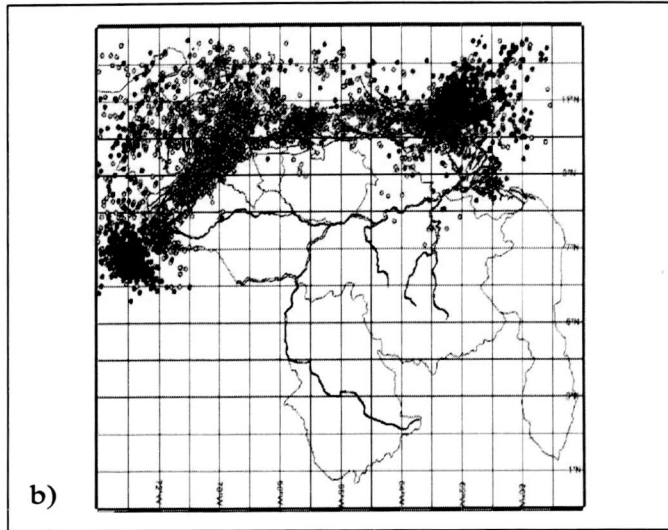
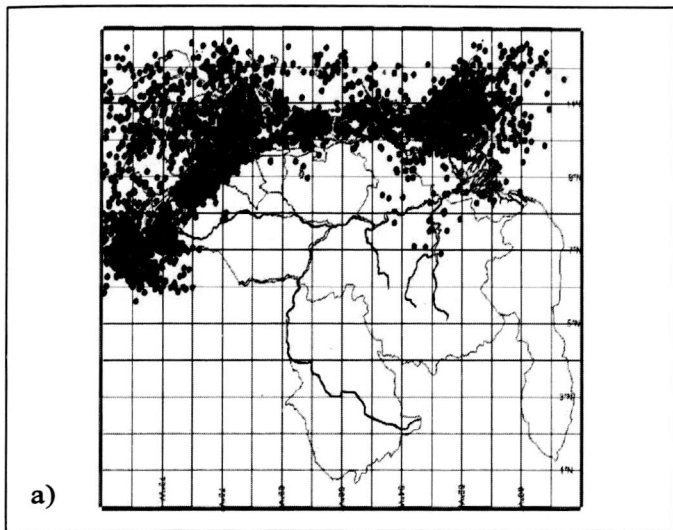


Figura 3. a) Distribución espacial del catálogo de sismicidad en Venezuela con epicentros discriminados según la magnitud. Azul = $m_b < 5.0$; Verde = $5 < m_b < 6.9$; Rojo = $m_b > 7$. b) Distribución espacial del catálogo de sismicidad en Venezuela con epicentros discriminados según su profundidad. Amarillo = somera; Naranja = Intermedia; Negro = Pro-

gional implantadas por otros organismos, ha permitido el procesamiento de un número importante de eventos, lo cual representa un mejoramiento sustancial en el catálogo sísmico nacional (Rendón, *op. cit.*).

El comienzo del tercer período puede ubicarse en el año 1999, cuando se pone en marcha el proyecto de modernización de la red sísmológica nacional. Dicho proyecto, todavía en fase de ejecución, contempla la instalación de sensores de tres componentes del tipo banda ancha.

Todos estos cambios en la configuración y densidad de la red nacional han tenido repercusiones importantes en el catálogo sísmico. La figura 4 refleja dichos cambios en la frecuencia de registro por año. Cambios importantes se pueden observar después de 1980, cuando la Resvac entra en funcionamiento, y poco antes del año 2000, cuando comienza la modernización de la red nacional.

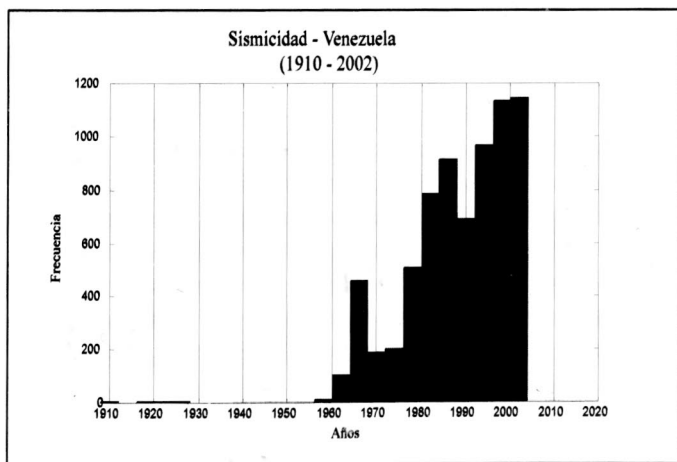


Figura 4. Registro de actividad sísmica anual.

Otros picos importantes pueden ser observados en asociación con eventos sísmicos. Se puede observar un aumento considerable de la frecuencia en el año 1967 asociado al sismo de Caracas y, en 1989, asociado a la tormenta sísmica que tuvo lugar en Falcón oriental.

Los cambios antes descritos en la red sísmológica nacional, al afectar la frecuencia y el nivel de detección de los múltiples eventos que suceden cada año, produjeron también cambios en la información que se extrae del catálogo, para calcular amenazas. Se puede observar, de distintas maneras, la influencia que ejercen estos cambios del catálogo disponible al realizar el procesamiento de los datos. La figura 5 muestra la relación Gutenberg-Richter (b-lines) para Venezuela en las etapas previa a la instalación de Resvac y durante el funcionamiento de la misma, respectivamente.

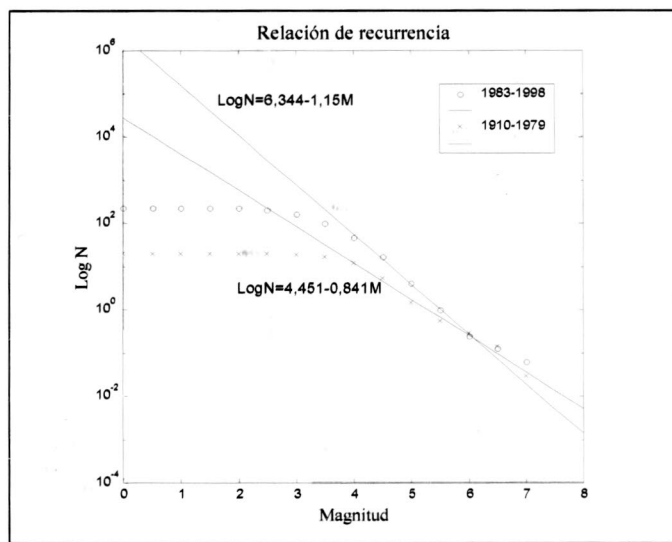


Figura 5. Relación Gutenberg-Richter para la primera y segunda etapa descritas anteriormente.

Ambas relaciones se ajustan bien a los datos del catálogo entre las magnitudes 4 y 6. Por encima de este intervalo, el ajuste es más bien deficiente y las frecuencias son subestimadas. Además de este limitado intervalo donde el ajuste puede considerarse confiable, las diferencias que presentan ambas relaciones entre sí es otra característica poco satisfactoria. Por ejemplo, para un sismo de magnitud 7.5, cada una de las relaciones propone un período de retorno de 72 y 191 años, respectivamente.

La figura 6 permite observar distintos valores b calculados para el catálogo de sismicidad del país. Cada valor es calculado para todo el período comprendido entre 1910 y el año indicado en el eje de las abscisas. El comportamiento de la curva permite observar, de manera similar a las anteriores, una diferenciación entre los dos períodos de registro. En este ejemplo, el cambio en el comportamiento de la gráfica se encuentra desplazado con respecto al año de la incorporación de la nueva red debido al carácter acumulativo de la curva, lo que no permite el reflejo instantáneo de las variaciones. A partir del período 1980-1985, la curva tiende a la convergencia alrededor del valor 0,9. Aunque dicha convergencia parece indicar una estabilización del valor b , lo que refleja el mejoramiento de la red sismológica nacional, se debe seguir prestando atención a los primeros años del catálogo, pues éstos influyen de manera significativa en los estudios realizados tomando en cuenta que dicho catálogo es muy completo.

Cuando el término b se calcula de modo similar para períodos anuales (figura 7), se observa no sólo una variación importante en el valor del mismo en términos absolutos, con una variación de 1,4 unidades entre el mínimo y máximo de la curva, sino también el reflejo de los cambios en la configuración de la red como un cambio en la frecuencia de los picos en la curva. El aumento en el valor b medio, luego de la instalación de la red Resvac (de 0,94 a 1,05), refleja el cambio de umbral de detección, lo cual permite registrar en el catálogo mayor cantidad de sismos de menor magnitud.

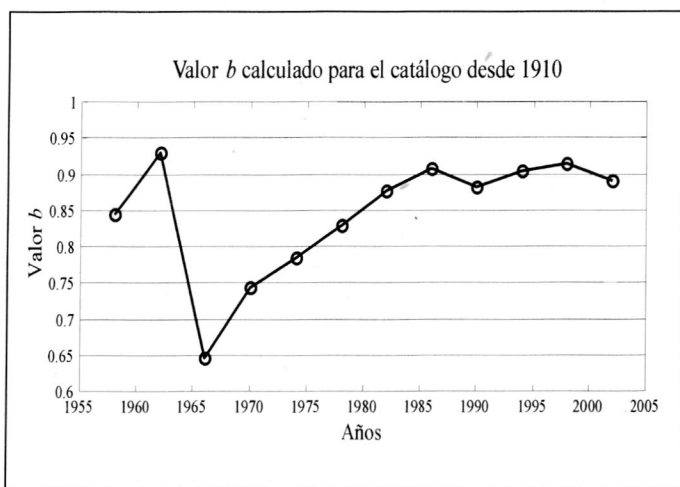


Figura 6. Variación del valor b en períodos cuya duración se incrementa a razón de cuatro años.

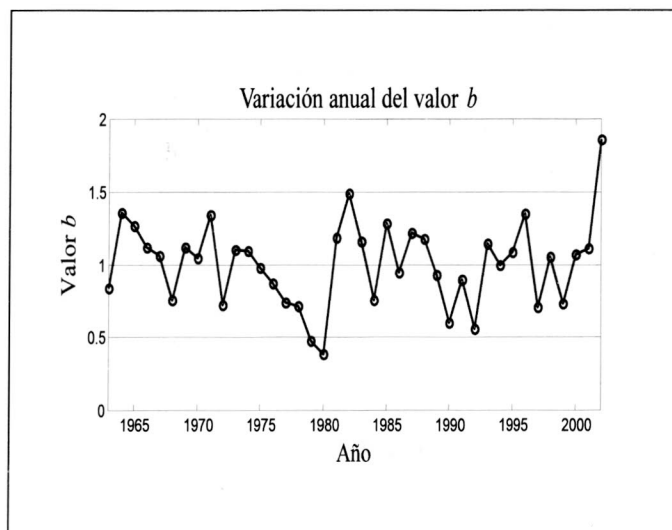


Figura 7. Variación del valor b calculado para períodos anuales.

Todo lo antes descrito permite observar un hecho lógico esperado: existe una correlación directa entre los cambios en la configuración de la red nacional y los cambios en las características del catálogo de sismicidad del país. De esta manera, cualquier estudio que implique el procesamiento y uso del catálogo sismológico nacional (entre ellos el cálculo de amenaza sísmica), debe pasar necesariamente por una revisión minuciosa del mismo, aplicando criterios lógicos y coherentes que permitan obtener resultados cada vez más apegados a la realidad sísmica del país.

De igual manera, la metodología de cálculo de amenaza por métodos probabilistas, cuando es aplicada en su forma básica, presenta serias limitaciones que no deben ser menospreciadas. En Krinitsky (1993; 1995), entre otros, se han desarrollado extensas discusiones acerca de estas limitaciones. La relación Gutenberg-Richter, en su concepción original, describe de manera eficiente la sismicidad de un área extensa. Cuando se realiza un análisis de amenaza, se supone que esta relación regional describe de manera satisfactoria el comportamiento de fallas individuales. Esta asunción elimina la noción según la cual, en un momento dado, cada falla, o incluso cada segmento de una misma falla, puede encontrarse en momentos distintos dentro de su propio ciclo sísmico.

La acción de uniformar los valores b de toda una región impide la posibilidad de observar singularidades inherentes a cada falla, que en definitiva pudieran ser controles importantes para el comportamiento sismogénico de la misma. Diversos ensayos han sido realizados en la búsqueda de modelos y metodologías que reflejen de manera más efectiva estas propiedades, entre los que podemos nombrar los realizados para Venezuela por Sobiesiak *et al.* (2001) y Grosser *et al.* (2001).

TABLA 1. TABLA RESUMEN CON LAS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES DE LAS 13 FALLAS INCLUIDAS EN LA ZONA DE ESTUDIO. MODIFICADA DE AUDEMARD ET AL. (2000).

Nombre de la Estructura	Sentido de Movimiento (mayor/menor)	Edad del último movimiento	Tasa de movimiento (mm/año)	Sismo máximo creíble	Período de retorno (años)
Oca	Dextral	<15 ka	0,45-2,0	7,4	4295±1020
Ancón	Dextral	<15 ka	1,6	7,4	1900
Camare-Paraíso	Dextral/Inversa	Probablemente <15 ka	? 2,0	7,1	670
---	Dextral/Normal	Probablemente <15 ka	? 3,0	6,7	390
Socrema	Inversa/Dextral	<1,6 Ma	<2,0	6,7	390
Urumaco (oeste)	Dextral	<1,6 Ma	0,05	6,6	14000
Urumaco (este)	Dextral	<15 Ka	0,05	6,4	12000-15000
Río Seco	Dextral	<15 Ka	0,35	7,0	1500
Valera	Sinistral	<15 Ka	1,0	6,9	2000
Boconó (Anzoátegui-Barquisimeto)	Dextral	<15 Ka	5	7,5	400
Boconó (Cabudare-Morón)	Dextral/Inversa	<15 Ka	1-3	7,5	700-2000
Flexura Frontal Surandina	Reverse	<1,6 Ma	0,5	7,0	500-750
La Victoria-Guacamaya	Dextral	<1,6 Ma	0,6	7,0	2000

El método determinista.

Ensayo en el occidente del país

El triángulo de fallas de Valera-Boconó-Oca, que incluye territorio de varios estados, (Mérida, Zulia, Trujillo, Lara, Falcón y Portuguesa), presenta una complejidad estructural y cinemática que merece especial atención. Se encuentra limitada por tres fallas de movimiento transcurrente, de velocidades distintas, lo que sugiere la existencia de complejidades cinemáticas internas y externas. Dichos límites los constituyen las fallas de Oca-Ancón, Boconó en sus segmentos de Mucuchies-Anzoátegui, Anzoátegui-Barquisimeto y Cabudare-Morón, y Valera en sus dos segmentos (Valera y río Mombay) (Audemard *et al.*, 2000).

Con el fin de lograr una mejor y más completa cobertura de la malla dentro de la zona del triángulo, el área de estudio se amplió, incluyendo un total de 13 fallas activas, potenciales generadoras de sismos en la región. La figura 8 muestra la distribución de la sismicidad en la zona de estudio, evidenciando la ocurrencia de eventos dispersos, no necesariamente asociados de manera directa a las estructuras mayores. La relación de recurrencia para la región presenta características similares a la calculada para la completitud del catálogo, el intervalo con comportamiento lineal es corto y por encima de magnitud 6.0 el ajuste de los datos con la lineal es deficiente.

Se han generado mapas de amenaza sísmica usando la información disponible de geología de fallas activas. Todos los datos usados, son el resultado de estudios de paleosismología, y en general de neotectónica en el área escogida. Datos como el sismo máximo creíble, su período de retorno y la geometría detallada de las trazas de

cada una de las fallas de la región fueron usados para calcular, junto con leyes de atenuación, las aceleraciones máximas en roca esperadas en cada punto.

Claramente se puede observar en los mapas, un control importante que ejerce la geometría de las estructuras consideradas en las tendencias de las zonas con mayores aceleraciones. En el caso de la figura 9 se tomaron en cuenta sólo las magnitudes de los sismos máximos creíbles asignados a cada segmento de falla (Audemard, 2000). La aceleración asignada a cada punto es la máxima posible, producida por un sismo de magnitud máxima creíble para un segmento específico de falla. De esta manera, tal valor sólo depende de la magnitud y la distancia mínima entre el punto y la falla. El valor máximo de aceleración en este mapa alcanza los 0,46g, mientras que el mínimo es de 0,06g.

De esta manera es fácil entender que los valores máximos de aceleración se encuentren alrededor de las fallas de Oca, Ancón y Boconó asociados a magnitudes 7.4 y 7.5 respectivamente. Mientras que los valores mínimos son asignados a los puntos más distantes de las estructuras activas (ej: centro del triángulo).

La figura 9 representa entonces, según los datos geológicos, el peor escenario posible con las características que presentan las fallas de la zona. Cada valor asignado a cada punto es equivalente a la máxima aceleración esperada en roca para ese sitio, según la ley de atenuación usada. Con el fin de plantear un escenario en algo más real se incorporó al cálculo el período de retorno de cada sismo máximo creíble, también calculado a partir de datos geológicos.

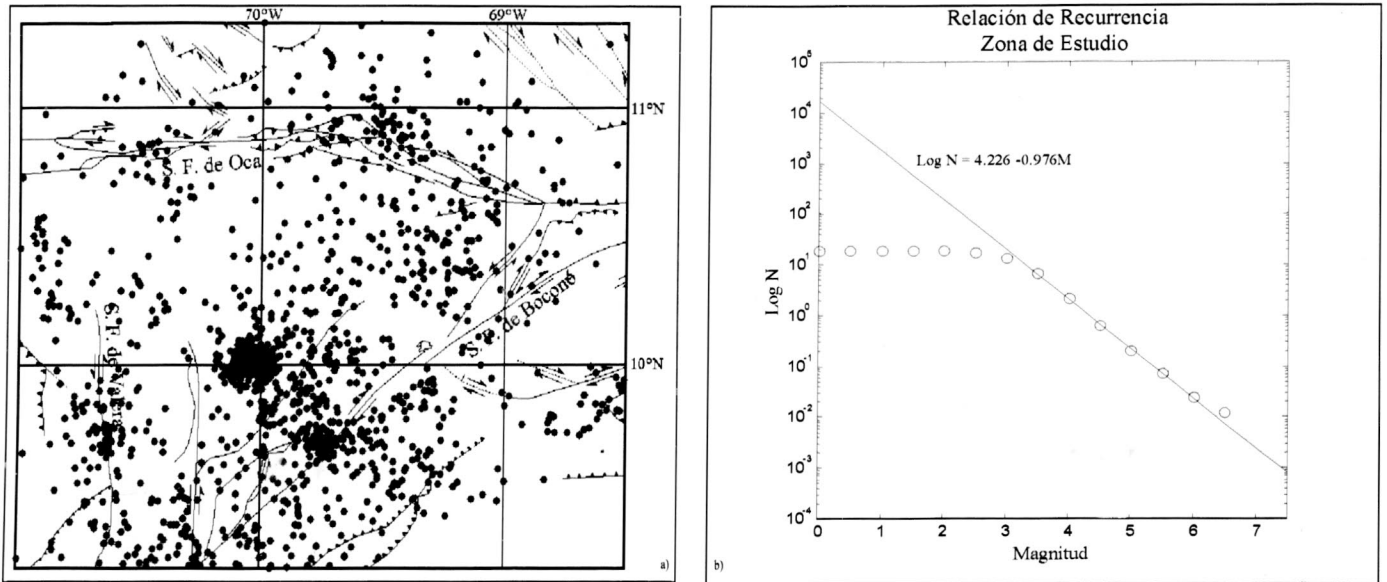


Figura 8. Características de la sismicidad en la zona del triángulo. A) Ubicación de epicentros reportados en el catálogo. B) Relación de recurrencia correspondiente.

La figura 10 muestra el resultado de la incorporación de este dato adicional. En este caso la aceleración es calculada del mismo modo que en el anterior, lo que varía es el criterio de escogencia del valor. Una vez calculada las distintas aceleraciones que para un punto pudieran producir los distintos sismos, se multiplican por la frecuencia anual del sismo correspondiente. Se obtiene así un valor adimensional cuyo máximo es usado para escoger la aceleración a asignar. De esta manera, se obtiene un mapa que permite observar dentro de la zona, las aceleraciones que de manera más probable

pueden afectar a un punto dado dentro de un escenario de sismos máximos creíbles.

Los cambios más importantes se observan en el área alrededor de la falla de Valera, La Victoria y Boconó en su segmento Cabudare-Morón con períodos de retorno de 2000 años para las dos primeras y 1000 años para la última. Mientras que las zonas con menos variaciones corresponden a las más cercanas a fallas con períodos de retorno menores como Boconó en su segmento Anzoátegui-Barquisimeto (400 años) y la Flexura Frontal Surandina (625

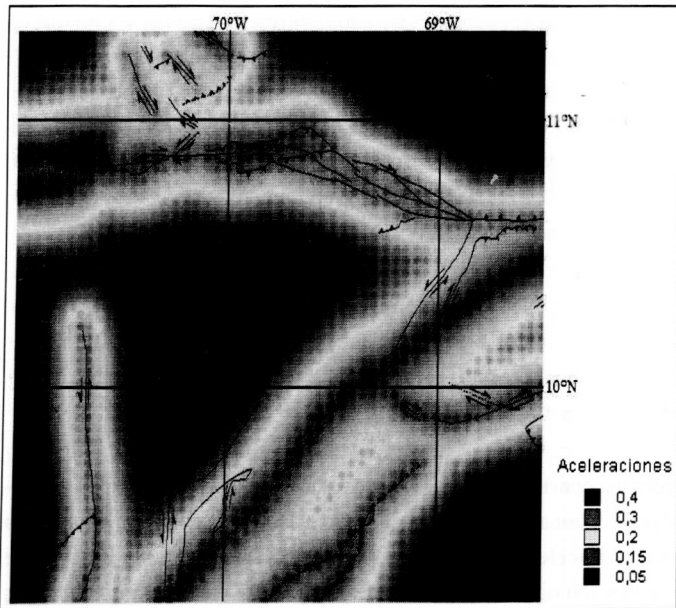


Figura 9. Mapa de aceleraciones calculado con los sismos máximos creíbles para cada falla.

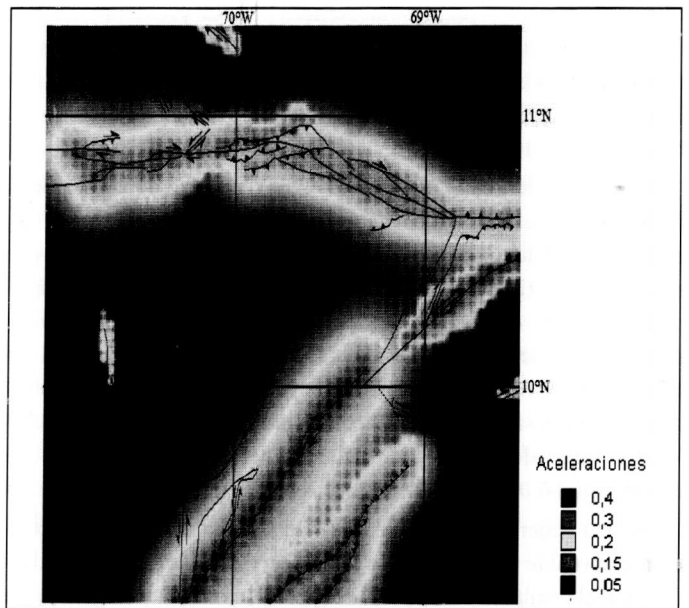


Figura 10. Mapa de aceleraciones calculado con los sismos máximos creíbles y el período de retorno para cada falla.

años). De igual modo fallas capaces de producir grandes sismos, que se encuentren lejos de otras estructuras importantes mantienen su influencia en sus zonas aledañas.

Del mismo modo que para el enfoque probabilista, los métodos deterministas presentan múltiples limitaciones para el cálculo de amenaza. En este tipo de análisis, la calidad de la información e interpretación geológica surgen como limitantes importantes, de hecho, en un mismo mapa pudieran coexistir datos de distinta calidad y procedencia, resultando así en valores menos confiables.

La dificultad de contar con sismos de magnitud media, pues su presencia en el registro geológico es usualmente enmascarada por sismos mayores, constituye un hecho que limita esta metodología al uso de sismos máximos, resultando en valores de movimiento del terreno altos. Dichos valores altos de movimiento del terreno, pueden representar una sobreestimación de la amenaza para estructuras de corta vida útil o de poca importancia en el manejo del riesgo. Debido a esto, los mapas aquí generados son de utilidad cuando se calcula la amenaza para obras de ingeniería de gran importancia en donde se deben considerar sismos con largos períodos de retorno.

La estrecha asociación de los valores de movimiento del terreno con el tamaño del sismo y la falla que los produjo, permite acotar dichos valores en un nivel superior. Es decir, mientras el enfoque probabilista permite realizar mapas incrementando las magnitudes tanto como el analista lo desee, la metodología aquí usada impone un "techo" mediante la magnitud máxima que es capaz de producir cada accidente tectónico.

El problema de la pérdida de noción temporal dentro del ciclo sísmico puede ser subsanado cuando se posee un estimado de la fecha del último sismo equivalente al máximo creíble, de lo contrario esta limitante sigue estando presente en esta metodología tal y como lo está en el enfoque probabilista.

Una ventaja importante que presenta esta metodología es la posibilidad de asociar cada valor de aceleración con los parámetros fuente y del sismo que lo produce. Esto permitiría en un paso subsiguiente conocer en más detalle el contenido de frecuencia responsable de la excitación del terreno.

CONCLUSIONES

Los ensayos con enfoques deterministas aquí realizados han demostrado su utilidad para ampliar la visión de la amenaza y acotar los valores según las limitaciones naturales que imponen las mismas estructuras generadoras de sismos. El uso de esta metodología en regiones con bases de datos geológicas completas y de buena calidad, en el mapeo de las fallas activas, permite generar resultados que son de gran utilidad como complemento en enfoques integrales.

No obstante, el igual que la metodología que oohace uso de las probabilidades, los enfoques deterministas han mostrado diversas desventajas. En el ensayo realizado se comprobó que debido al carácter netamente geológico de los datos utilizados, la disponibilidad

y calidad de los mismos puede cambiar de una falla a otra. La limitación que lo anterior impone radica en que para la realización del análisis es necesario contar con la uniformidad de todos los parámetros en todas las fallas. Es decir, todas y cada una de las estructuras consideradas como potenciales generadoras de sismos, deben contar con estudios de geología de fallas activas que hayan determinado sismos máximos creíbles, períodos de retorno y edad del último sismo, todos con niveles de confiabilidad similar.

A medida que más y mejores datos se hacen disponibles, este tipo de mapas pueden ser mejorados de manera significativa, incorporando criterios adicionales como el estado de esfuerzos alrededor de las fallas, que permitan plantear escenarios más reales, usando igualmente datos con orígenes distintos a los estudios geológicos.

El análisis del catálogo sísmico nacional en términos del valor b y de la relación Gutenberg-Richter ha permitido la identificación de diversas variaciones en el mismo, asociadas a los distintos cambios realizados en la instrumentación de la red nacional y no a un cambio real de la sismicidad del país. Si dichas variaciones son trasladadas a los cálculos de amenaza sísmica sin un examen crítico de sus efectos, los resultados obtenidos pudieran representar sólo un reflejo muy aproximado de la realidad. Los mapas así generados pueden ser de utilidad para la construcción de obras de interés general o para el manejo de emergencias. No obstante, la aplicación de estos resultados en estructuras vitales o que impliquen un bajo nivel de aceptación al riesgo constituiría un hecho preocupante desde todo punto de vista.

Los análisis aquí realizados permiten visualizar la evolución de la red sísmológica nacional y cómo sus modificaciones han influido en el catálogo sísmico nacional. En este sentido, los resultados aquí obtenidos son una muestra de los avances que en esa materia se han hecho.

Se hace absolutamente necesario adoptar metodologías mixtas que incorporen otros parámetros. Esto permitirá que los estimados de amenaza sísmica arrojen resultados verdaderamente dinámicos que reflejen de manera más eficiente las propiedades físicas que controlan la ocurrencia de sismos y su cambio en el tiempo.

REFERENCIAS

- AUDEMARD, F. A., M. N. MACHETTE, J. W. COX, R. L. DART & K. M. HALLER, 2000, Map and database of Quaternary faults in Venezuela and its offshore regions, *Open-File Report 00-018* USGS.
- GROSSER, H., A. RIETBROCK, M. BAUMBACH, G. ROMERO, J. ROJAS, 2001, Seismic Tomography in the aftershock region of the Cariaco earthquake, 1997, *Eos. Trans. AGU*, 82(47), *Fall Meet. Suppl.*, Abstract S32E-03.
- KRINITZSKY, E. L., 1993, Earthquake probability in engineering-Part 2: Earthquake recurrence and limitations of Gu-

- temberg-Richter b-values for the engineering of critical structures. The third Richards H. Jahns Distinguished Lecture in Engineering Geology, *Engineering Geology*, v.36, pp. 1-52.
- KRINITZSKY, E. L., 1995, Deterministic versus probabilistic seismic hazard analysis for critical structures, *Engineering Geology*, v.40, pp. 1-7.
- REITER, L., 1990, *Earthquake hazard analysis. Issues and insights*, New York, Columbia University Press, 254 pp.
- RENDÓN, H., 1997, Red sísmica de Venezuela, en AAVV Grases, J., Diseño Sismorresistente, especificaciones y criterios empleados en Venezuela. Caracas, 662 pp.
- ROMERO, G., J. ROJAS, M. BAUMBACH, H. GROSSER, M. SOBIESIAK y grupo de trabajo RESICA 97, 1999, Distribución en profundidad de la actividad sísmica y su relación sismotectónica, *VI Cong. Venez. Sism. e Ing. Sísmica.*, Mérida, Venezuela.
- SMIT, P., 2002, Seismic Hazard and Risk Assessment, Lecture Notes Certificat d'Etudes des Risques Géologiques 2002.
- SOBIESIAK, M., C. PALME, J. CHOY, M. T. MORANDI, M. CAMPO, C. GRANADO, 2001, Seismological parameters in the Northern Andes, Venezuela, *Eos. Trans. AGU*, 82(47), *Fall Meet. Suppl.*, Abstract S12B-0599.