

**INFORME AMPLIATORIO PARA EL ESTUDIO:
“VULNERABILIDAD SISMICA DE EDIFICIOS
IMPORTANTES DE LA CIUDAD
DE GUAYAQUIL”.**

POR. Ing. Jaime Argudo Rodríguez
Ing. Alex Villacrés Sanchez.

1. Introducción:

En éste documento, se da contestación al informe presentado por el Ing Roberto Aguiar a DHA/UNDRO, como evaluación del estudio “Vulnerabilidad Sismica de Edificios Importantes de la ciudad de Guayaquil” realizado por Walter Mera, Jaime Argudo, Alfredo Freire y Alex Villacrés, del Instituto de Investigación y Desarrollo de la Universidad Católica de Guayaquil (IIFIUC)

2. Sobre la Macrozonificación Sísmica de Guayaquil:

2.1 Escenario de sismo cercano (area fuente 6):

En el informe de Aguiar, no se expone justificación alguna que permita sustentar el criterio del autor de que la aceleración máxima en roca “Ag ó Ac” evaluada por el IIFIUC como 319 cm/seg² es demasiado alta. Realiza solamente una comparación con valores obtenidos por otros estudios (ESPE, ESPONA, U. de Guayaquil), en los cuales se hace uso de leyes de atenuación estimadas para aceleraciones registradas en los Estados Unidos, las que nunca han sido corroboradas en el Ecuador por la ausencia de registros acelerográficos.

Justamente, una contribución que aporta este estudio consiste en valorar los efectos de atenuación y amplificación de los sismos, sobre las bases de datos acelerográficos de la Red Nacional de Acelerógrafos de la Universidad Católica

Cabe mencionar, que calcular la probabilidad de excedencia de una determinada aceleración empleando la magnitud del sismo es equivalente a calcularla con respecto a la aceleración, debido a que existe una relación directa entre magnitud y aceleración si la distancia epicentral se fija como una constante (250 Kms., que es la distancia hipocentral a Guayaquil del sismo del 13 de Mayo de 1942, el precedente que mayor daño ha causado a la ciudad en el presente siglo)

En Guayaquil, como en otras ciudades del Ecuador, no se dispone de registros acelerográficos de movimientos fuertes, por lo que se introduce mucha incertidumbre al calcular probabilidades de excedencia utilizando presuntos valores de aceleraciones obtenidos con leyes de atenuación no validadas. Lo que se hizo en nuestro estudio es mucho más coherente con la información instrumental de la que se dispone (magnitudes e hipocentros).

Se debe aclarar, que el valor calculado por el IIFIUC y referido por Aguiar 319 cm/seg² para probabilidad de excedencia del 10% en 20 años, período de retorno de 196 años y epicentro a 60 kms de distancia corresponde a una combinación crítica de variables. Fue extraído de la Tabla 7 del estudio del IIFIUC, tabla que contiene muchos otros valores, pero casualmente éste ha sido referido, sin que el mismo tenga mayor trascendencia, puesto que el estudio no se desarrolla bajo la hipótesis de que tal evento ocurriera

Valores críticos como éste, constituyen una extrapolación de las relaciones matemáticas estimadas, no responden a sismos de los cuales se tenga evidencia histórica o instrumental ($M_b = 7.4$ en la provincia del Guayas, Área Sismogénica 6 en nuestro estudio) y más bien corresponderían a un estudio de peligrosidad sísmica realizado para una obra de gran importancia como por ejemplo una presa o una central hidroeléctrica.

Estos valores son en todo caso extrapolados del modelo probabilístico de valores extremos de Gumbel 1 usado para definir la sismicidad del área sismogénica 6 en nuestro estudio. El modelo de Gumbel 1 es:

$$F(M_b) = \exp(-\exp(-1.94(M_b - 4.68))) \quad \text{Ecuación 1.}$$

Que ajusta con más de un 99% del nivel de aceptación de la prueba de frecuencias de Chi-Cuadrado con los valores extremos anuales registrados en el área en el período 1943-1986 (ver anexo 1).

El máximo valor de magnitud registrado en el área sismogénica 6 en dicho período corresponde a $M_b=6.2$. Se debe recalcar que el valor de 319 cm/s² está asociado a un sismo de magnitud $M_b=7.4$, evento muy poco probable, no obstante, considerado como el límite inferior de la máxima magnitud esperada en el área por la Escuela Politécnica Nacional (ESPONA) según se muestra en el informe de Aguiar (ver "Peligrosidad Sísmica de Guayaquil", literal 4.5) El valor reportado por la ESPE al respecto es $M_b=7.0$.

Sin embargo, asumiendo, como lo ha hecho el Ing. Aguiar, que ocurre un sismo con magnitud $M_b=7.4$, con epicentro a 60 Km de Guayaquil; los valores máximos de aceleración en roca, calculados con la ley de atenuación propuesta por él (ecuación 11 del informe "Peligrosidad Sísmica de Guayaquil") serían los correspondientes a:

$$\begin{aligned} \ln A_{\max} &= 6.35182 + 0.99728 M - 1.76789 \ln(R + 40) - 0.5 && \text{valor mínimo probable} \\ \ln A_{\max} &= 6.35182 + 0.99728 M - 1.76789 \ln(R + 40) + 0.5 && \text{valor máximo probable} \end{aligned}$$

Ecuaciones, que evaluadas para $M=7.4$ y $R=60$ kms, dan los siguientes valores.

$$\begin{aligned} A_{\max} &= 162.43 \text{ cm/s}^2 && \text{valor mínimo probable} \\ A_{\max} &= 441.54 \text{ cm/s}^2 && \text{valor máximo probable} \end{aligned}$$

Nótese que este rango de valores es tan amplio que permitiría caracterizar a eventos de muy diferente intensidad, razón por la cual esta ley de atenuación a nuestro juicio es poco útil desde el punto de vista ingenieril, a pesar de que la misma aparenta ser muy precisa porque se expresa con coeficientes que poseen cinco cifras decimales

Pero, si se emplease la ecuación 11 con una media ($\sigma=0$) se obtendría un $A_{max} = 267.80 \text{ cm/s}^2$

Cálculos y razonamientos, que nos eximen de cualquier comentario adicional respecto a la calificación de 'demasiado alto' que se atribuye al valor de 319 cm/s^2 reportado en la Tabla 7 de nuestro estudio

La muestra usada para definir el modelo correspondiente al escenario de un sismo cercano que estamos comentando es de 44 años (1943-1986), en ningún caso se han usado en el estudio del IIFIUC los valores citados por Aguiar, han sido propuestos mas bien como ejemplos de cálculo. Los valores usados pueden consultarse en el **anexo 2** y fueron obtenidos a partir de la Ecuación 1 de éste documento que es la misma que se usó en el estudio

Magnitud Mb	Periodo de Retorno (años)	Cuadro 1 Distancia Hipocentral (Km)	Fuente Sismogénica	Aceleración Esperada (%g)
6.7	50	60	Cercana	8.5
7.1	100	60	Cercana	18.2

De tal manera que la afirmación de Aguiar de que no hay continuidad entre el trabajo de Macrozonificación y Microzonificación de Guayaquil no es verdadera y corresponde al hecho de que Aguiar no concibe la Tabla 7 del estudio de IIFIUC como valores representativos del modelo, sino como el modelo en sí. Procedemos por tanto a demostrar que, haciendo uso del modelo de probabilidades antes descrito se obtienen los valores arriba presentados.

Para el evento $M_b=6.7$, con periodo de retorno $T=50$ años y distancia hipocentral $R=60$ Km, se procede a verificar que de acuerdo a nuestro modelo existe correspondencia entre estos valores:

$$F(M) = P(M_b \leq 6.7) = \exp [-\exp(-1.94(6.4 - 4.68))] = 0.98$$

$$T = \frac{1}{1 - F(M)} = 50$$

Para el evento $M_b=7.1$, con periodo de retorno $T=100$ años y distancia hipocentral $R=60$ Km

$$F(M) = P(M_b \leq 7.1) = \exp [-\exp(-1.94(7.1 - 4.68))] = 0.99$$

$$T = \frac{1}{1 - F(M)} = 100$$

A continuación, se procede a comparar en condiciones “homogéneas y equitativas”, los valores obtenidos por el IIFIUC y Aguiar para la aceleración máxima esperada. Los valores del IIFIUC, han sido calculados con la ley de atenuación descrita en la sección 1.5.3 de nuestro estudio

Aguiar (ESPE):

$$\ln A_{max} = 6.35182 + 0.99728 M - 1.76789 \ln (R + 40), \quad \text{con } \sigma=0$$

Si $M=6.7$ y $R=60$	$A_{max} = 133.24 \text{ cm/s}^2$	o	$13.6\%g$
Si $M=7.1$ y $R=60$	$A_{max} = 198.55 \text{ cm/s}^2$	o	$20.2\%g$

Mera, Argudo, Freire y Villacrés (U. Católica de Guayaquil).

$$\ln A_g = -3.45 + 1.93M_b - 1.1 \ln (R+40)$$

Si $M_b=6.7$ y $R=60$	$A_g = 82.7 \text{ cm/s}^2$	o	$8.5\%g$
Si $M_b=7.1$ y $R=60$	$A_g = 179.0 \text{ cm/s}^2$	o	$18.2\%g$

2.2 Escenario de sismo lejano (area fuente 1):

Las áreas fuentes utilizadas en el estudio fueron definidas por un grupo de investigadores (Otón Lara, Miguel Ángel Chávez, Lilia Valarezo, Agustín Serrano y Roberto Aguiar, 1982) en el estudio de “Riesgo Sísmico para la Central Hidroeléctrica de la Central Daule Peripa” y el área fuente “1” se encontró que es el área que representa mayor peligro para las estructuras importantes de la ciudad de Guayaquil, confirmada como tal en el estudio. “Determinación de la Distribución de los Niveles de Aceleración en el País y Regionalización con fines de Prevención Sísmica” (José Palacio, CONUEP - U. de Guayaquil, 1987)

En el anexo preparado por Aguiar “Peligrosidad Sísmica de Guayaquil”, se discute sobre las diversas propuestas de áreas fuentes o áreas sísmogenéticas, lo que confirma la apreciación de que el área “1” es un área fuente aceptada por todos los autores como tal. Allí también se menciona la necesidad de realizar los estudios sobre todas las áreas fuentes del País, lo que a nuestro criterio es innecesario, debido a que la historia sísmica del Ecuador, solamente registra intensidades importantes sentidas en Guayaquil para las tres áreas fuentes utilizadas en nuestro estudio: Área “1” (zona de subducción), Área “5” (zona sur - central del País) y Área “6” (zona local de Guayaquil) Figura 2 del Capítulo 1, estudio del IIFIUC.

Se demuestra además, que los sismos esperados más severos para la ciudad procederán del Área 1 (sismo de subducción lejano) y del Área 6 (sismo local cercano). En ambos casos, se trata de sismos superficiales por lo que no es necesario realizar la sugerida división de los eventos profundos y superficiales.

La evaluación de la magnitud máxima esperada, ha sido calculada utilizando la distribución de valores extremos de Gumbel 1.

Los parámetros sísmicos de la Ley de Guttenberg - Richter evaluados para el período de 1933 a 1987, coinciden con aquellos obtenidos por otros autores tales como: Palacio, LaTégola, Lara y Aguiar, como se puede apreciar en la Tabla 2 del trabajo que se anexa: "El Sismo de Guayaquil de 1942 Evidencias Recientes" (anexo 3) El cuestionamiento realizado por Aguiar de utilizar la distribución de Gumbel 1 por considerarla conservadora se contrapone con los siguientes criterios:

a) Esta distribución ha sido ampliamente usada en el Ecuador en importantes estudios de evaluación de la Peligrosidad Sísmica: Presa Daule - Peripa, Oleoducto Transecuatoriano, Base Naval de Jaramijó, etc. Se lo hace debido a la falta de continuidad en los registros instrumentales en el período de 1901 a 1962, y a la necesidad de incluir en la evaluación del peligro sísmico eventos de gran tamaño y de incuestionable verificación en lo que respecta a su ocurrencia durante dicho periodo.

b) Al comparar los resultados obtenidos en cuanto a la probabilidad de ocurrencia de sismos severos, en el Area fuente "1", se encuentra una coincidencia exacta con la predicción del National Earthquake Information Center, realizada por Stuart Nishenko. Para obtener esta correspondencia se ha efectuado un estudio que relaciona la magnitud Ms (a la que se refiere Nishenko) y la magnitud Mb (que registra el catálogo sísmico del Ecuador) La prueba de correlación tiene un coeficiente de 93%

En el anexo antes mencionado se atribuye a la magnitud del Sismo de 1942 una probabilidad de ser excedido del 60% durante el período de 1987 a 2007 y cabe mencionar que dicho evento es utilizado como escenario probable en los ejercicios de simulación de catástrofes sísmicas de la Defensa Civil Nacional. Adicionalmente, el sismo de 1906 (area fuente 1), tiene una probabilidad de ser excedido del 40% durante el período 1987 - 2007.

La muestra usada para definir el modelo que estamos comentando es de 55 años (1933-1987) y los valores usados en el estudio de Vulnerabilidad de Estructuras Importantes de Guayaquil (ver estudio del IIFIUC, secciones 2.1.3 y 1.4.) son

Magnitud Aceleración Mb	Periodo de Retorno (años)	Hipocentral (Km)	Distancia Sismogénica	Fuente Esperada (%g)
7.5	50	250	Lejana	5.4
8.0	100	250	Lejana	14.2

Procedemos a demostrar que, haciendo uso del modelo de probabilidades antes descrito se obtienen los valores arriba presentados.

Para el evento Mb=7.5, con periodo de retorno T=50 años y distancia hipocentral R=250 Km, se procede a verificar que de acuerdo a nuestro modelo existe correspondencia entre estos valores:

$$F(M) = P(M_b \leq 7.5) = \exp[-\exp(-1.56(7.5 - 5.02))] = 0.98$$

$$T = \frac{1}{1 - F(M)} = 50$$

Para el evento $M_b=8.0$, con periodo de retorno $T=100$ años y distancia hipocentral $R=250$ Km.

$$F(M) = P(M_b \leq 7.1) = \exp[-\exp(-1.56(8.0 - 5.02))] = 0.99$$

$$T = \frac{1}{1 - F(M)} = 100$$

Los valores correspondientes de aceleración máxima esperada han sido calculados con el procedimiento descrito en nuestro estudio (ver sección 1.5.1.) y se compararán también con los valores que se obtendrían si se usara la ley de atenuación propuesta por Aguiar (ecuación 11 del informe "Peligrosidad Sísmica de Guayaquil").

Aguiar (ESPE):

$$\ln A_{max} = 6.35182 + 0.99728 M - 1.76789 \ln(R + 40), \quad \text{con } \sigma = 0$$

Si $M=5.8$ y $R=250$ kms	$A_{max} = 8.3$ cm/seg ²	o	0.8%g
Si $M=7.0$ y $R=250$ kms	$A_{max} = 27.34$ cm/seg ²	o	2.8%g
Si $M=7.5$ y $R=250$ kms	$A_{max} = 45.05$ cm/s ²	o	4.6%g
Si $M=8.0$ y $R=250$ kms	$A_{max} = 74.16$ cm/s ²	o	7.6%g

Mera, Argudo, Freire y Villacrés (U. Católica de Guayaquil):

$$\ln A_g = C_1 + 1.96M_b + C_3 \ln(R + R_0), \quad \text{Ecuación 2}$$

Se establece en nuestro estudio

Si $M_b = 5.8$ y $R = 250$ kms	$A_g = 1.9$ cm/seg ² (registros acelerográficos de 1/9/1990)
Si $M_b = 7.0$ y $R = 250$ kms	$A_g = 19.7$ cm/seg ² (valor inferido a partir de la intensidad del sismo del 13 de Mayo de 1942).

Con estos dos valores y la Ecuación 2 (sin necesidad de conocer C_1 , C_3 y R_0 en la sección 1.5.1 de nuestro estudio), se puede conocer que:

Si $M_b = 7.5$ y $R = 250$ kms	$A_g = 52.5$ cm/seg ²	o	5.4%g
Si $M_b = 8.0$ y $R = 250$ kms	$A_g = 139.3$ cm/seg ²	o	14.2%g

Mientras existe aceptable concordancia entre los valores calculados por la ESPE y la U Católica para el sismo de 1942, en el caso del sismo del 1 de Septiembre de 1990, asumir una aceleración en roca de 8.3 cm/seg² no guarda correspondencia con los registros acelerográficos (que son mucho más confiables)

Para el caso de un sismo con magnitud $M_b = 8.0$, no existe concordancia entre los valores de ESPE y U. Católica, pero ambos valores corresponden a extrapolaciones de los respectivos modelos dado que sismos de esa magnitud, no han sido nunca registrados en el área

Finalmente, con relación a la evaluación de magnitudes máximas esperadas (a partir de datos instrumentales, no inferidos) nótese que existe coincidencia en los resultados obtenidos por la Universidad Católica de Guayaquil y la Politécnica Nacional, en tanto que, los valores obtenidos por la ESPE son menores, tal como lo ilustra Aguiar en su informe. "Peligrosidad Sísmica de Guayaquil", Secc. 4.5.

3. Sobre la Microzonificación Sísmica de Guayaquil:

En su informe el Ing. Aguiar manifiesta que no hay continuidad entre la Macrozonificación y la Microzonificación Sísmica de Guayaquil, como se explicó detalladamente en la sección anterior aquello no es cierto. El valor A_0 ó $A_g = 319 \text{ cm/seg}^2$ se calculó solamente con fines descriptivos y no define la ordenada del espectro de diseño elástico para un período $T=0$.

Sobre éste valor Aguiar manifiesta que. "A partir de este punto con los estudios de Microzonificación Sísmica se debía determinar la forma del espectro de diseño elástico" Lo que sugiere una gran confusión en el producto de no haber revisado exhaustivamente nuestro trabajo y un deseo injustificado de querer encuadrar nuestro trabajo en alguna metodología que él prefiere

Para la generación de las formas espectrales se utilizó tres sismos incidentes en el basamento El Sismo de TAFT S69E (Tipo 1) que tiene un rango de períodos dominantes de 0.1 a 0.45 segundos y los sismos Tipo 2 y Tipo 3 generados artificialmente a partir del sismo de TAFT para los propósitos del estudio El sismo Tipo 2 posee un rango de períodos dominantes de 0.2 a 0.9 seg y el sismo Tipo 3 posee un dominio de períodos dominantes de 0.4 a 1.8 seg. (Ver anexo 2, sección 2.3)

Las características que estos sismos tienen es que aplicados en conjunto sobre un oscilador de un grado de libertad permiten barrer un dominio completo de períodos desde 0.1 a 1.8 seg (rango que contiene a los períodos de los sismos que se espera provengan de cualquier tipo de fuente: cercana o lejana), por lo que resulta innecesario recurrir a otros eventos para el análisis y mediante ésta metodología se elimina la incertidumbre propia de la aleatoriedad del contenido de períodos de los sismos incidentes en el basamento rocoso

Estos tres sismos se presentan en la Figura 11 del anexo 2, normalizados para 0.3g para ilustrar justamente el rango de períodos barrido en los análisis (0.1 a 1.8 seg). Para efectos de calcular los espectros de diseño elástico presentados en las Figuras 20 y 21, se recurrió a varios análisis que se ilustran desde la Figura 12 hasta la 19.

Los espectros fueron obtenidos trazando la envolvente de las respuestas para sismos cercanos y sismos lejanos (todo tipo de sismo desde el punto de vista de su rango de períodos) y utilizando las aceleraciones máximas de la Tabla 1 del estudio, que aquí también se presentan en los cuadros 1 y 2. Fueron por lo tanto normalizados los tres sismos incidentes para los valores de aceleración A_g , obtenidos en el estudio de Macrozonificación Sísmica para períodos de retorno de 50 y 100 años, siendo equivocada la interpretación de Aguiar de que éstos valores corresponden a una normalización para el valor de 0.3g

4. Microzonificación Urbana de Guayaquil:

Las sugerencias que Aguiar hace sobre futuras aplicaciones y ampliaciones de la base de datos son bien acogidas por los autores del estudio. No obstante, las mismas quedan fuera del alcance de la presente investigación y la ampliación de la base de datos es una tarea que actualmente se realiza con el soporte de nuevos proyectos preferentemente de tipo sectorial como el que se ilustra en el anexo 6.

5. Pruebas de Vibración ambiental de edificios importantes de Guayaquil:

Aguiar plantea que es necesario obtener la función de transferencia entre la medición del último piso y la del suelo y obtener una media estadística de por lo menos diez mediciones.

Tal procedimiento es innecesario, (ver anexo 5) además de redundante y tal como ha sido formulado denota falta de experiencia experimental sobre el tema. La metodología empleada en este estudio es respaldada por Universidades e Institutos de otros países tal como se ilustra en los anexos 4 y 5.

6. Análisis Matemático de Edificios:

El análisis matemático de los edificios se ha realizado con la finalidad de obtener información sobre los niveles de daño esperado en las edificaciones y los porcentajes de personas afectadas en el contexto de cuatro escenarios posibles: sismo lejano con período de retorno de 100 años, sismo lejano con período de retorno de 50 años, sismo cercano con período de retorno de 100 años y sismo cercano con período de retorno de 50 años

Para los fines del estudio, fue suficiente investigar el comportamiento de las estructuras para diversos eventos producidos en otros países. Aunque concordamos con Aguiar sobre la conveniencia de utilizar los resultados de la Microzonificación Sísmica en éste tipo de análisis, debemos recordar que los estudios de Microzonificación Sísmica se realizaron cronológicamente después de los análisis de las estructuras. Los estudios de Microzonificación inicialmente, no eran parte de nuestro trabajo (fueron encomendados a otra institución que hasta la fecha no reporta resultados) pero se debió realizar el estudio del anexo 2 para disponer de la información necesaria para estimar la vulnerabilidad sísmica de Guayaquil para cada uno de los cuatro escenarios antes descritos (parte culminante de nuestro estudio, que actualmente se está preparando).

7. Conclusiones sobre el informe del Ing. Aguiar:

7.1 Aspectos Positivos:

- a) Se reconoce que: “realmente se nota un enorme trabajo desarrollado por el IIFIUC que debemos apoyarlo e incentivarlo toda vez que el proyecto lo amerita”.
- b) Se plantean sugerencias útiles respecto de la Microzonificación Urbana que podríamos acoger durante el desarrollo de nuevos proyectos.

7.2 Aspectos Negativos:

a) Falta de exhaustividad al evaluar el estudio preparado por el IIFIUC. El autor de la evaluación denota mucha confusión al evaluar el estudio, lo que sin duda es el resultado de un poco exhaustivo análisis, puesto que toda la información estuvo disponible, sustentada y clara.

b) Falta de Objetividad. En varios pasajes de la evaluación, el autor emite criterios subjetivos indebidamente sustentados sobre la metodología empleada o los resultados obtenidos en el estudio. Citamos como ejemplo lo siguiente;

- En el capítulo de macrozonificación sísmica califica de altos los valores de aceleraciones esperadas obtenidos por nosotros, cuando en la mayoría de los casos él obtiene valores superiores a los nuestros. El estudio por él presentado “Peligrosidad Sísmica de Guayaquil”, concluye que sus estudios coinciden con los presentados por la E.P.N. en la modelación de las áreas fuentes.

Lo objetivo es que esto poco influye en los resultados de los niveles de aceleraciones y magnitudes esperadas, sobre lo cual y a partir de la misma información proporcionada por Aguiar se observan mayores coincidencias entre los estudios de la Universidad Católica y la E.P.N., siendo en la mayoría de los casos discordantes los resultados presentados por la ESPE.

- En el capítulo titulado “Pruebas de vibración ambiental de edificios importantes de Guayaquil” sin mayor sustento teórico y con muy limitada experiencia experimental que lo acredite sostiene categóricamente una metodología que él propone como idónea para medir los periodos de las estructuras y no está de acuerdo con nuestro procedimiento, el mismo que es aceptado por respetables Institutos y Universidades del mundo y que como se prueba en el anexo 5 proporciona resultados irrefutablemente válidos.

c) Exagerado absolutismo: A lo largo de la evaluación son varios los pasajes en los cuales el autor sugiere encuadrar nuestras metodologías de acuerdo con las de él, sin reconocer que el estado del arte en este campo difícilmente otorga a persona o institución alguna la verdad absoluta.

Manifiesta por ejemplo que “para evaluar la peligrosidad sísmica en el Ecuador debe emplearse como ley de atenuación del movimiento del suelo la ecuación 6 o la 11”

Como se ha probado en éste informe, éstas ecuaciones proporcionan un rango probable de resultados tan amplio que resultan poco útiles desde el punto de vista ingenieril. Mas que una fórmula que "debe emplearse", es una fórmula que prueba la gran incertidumbre que poseen todas las leyes de atenuación debido fundamentalmente a la limitada información instrumental de la que se dispone, a la complejidad de los mecanismos focales de propagación de las ondas sísmicas y a la heterogeneidad de los medios que las transportan.