

# THEK

## RESEARCH INSTITUTE

*Advanced Scientific, Engineering & Technological Think Tank*

# VALIDACIÓN EMPÍRICA DEL MÉTODO DE ENERGÍA LIBERADA SERRA / MEL

---

*Corroboración Prospectiva del Documento ESPOL 2005:  
Reactivación Sísmica Nacional · Terremoto de Pedernales 2016  
SIGSAs de Guayaquil · Jambelí · Chongón-Colonche · Manabí-Esmeraldas*

**Marcelo Moncayo Theurer, MSc**

CEO y Director de Investigación — THEK Research Institute

Profesor Titular — Universidad de Guayaquil

solugran@gmail.com | ORCID: 0000-0002-8456-1571

Repositorio CEDIA/SENECYT: <https://redi.cedia.edu.ec/document/345876>

**2025**

## RESUMEN EJECUTIVO

---

Este documento presenta la evidencia técnica y documental que sustenta la validación empírica del Método de Energía Liberada — Seismic Energy Release Risk Assessment (SERRA/MEL) — desarrollado por Marcelo Moncayo Theurer entre 1999 y 2000. El propósito central del método es trasladar el análisis del peligro sísmico al dominio de la energía física, como fundamento para el desarrollo de diseños estructurales sismoresistentes más seguros, precisos y de actualización permanente. El método utiliza las bases de datos sísmicas del mundo para producir curvas de energía sísmica liberada y mapas de riesgo sísmico, que son traducidos a magnitud equivalente y, mediante leyes de atenuación, a aceleración máxima de diseño, completando así una herramienta integral de estimación del peligro sísmico para el desarrollo de diseños sismoresistentes basados en las demandas reales e históricas del sitio en estudio. Como subproducto prospectivo de este enfoque energético, el método permite identificar etapas de mayor actividad sísmica, comprender el comportamiento cíclico de cada región y estimar con precisión el peligro sísmico vigente en cada fuente sísmica identificada.

El presente documento demuestra que las afirmaciones prospectivas formuladas en el Mapa de Potencialidad de Energía Liberada para la Ciudad de Guayaquil (ESPOL, Proyecto Semilla, 2005) [3] han sido corroboradas de forma sistemática por la actividad sísmica registrada en el catálogo del USGS [5] durante el período 2000–2026. La autenticidad de los documentos originales ha sido verificada mediante análisis de metadatos, los cuales confirman que fueron creados entre 2001 y 2006, con anterioridad a todos los eventos sísmicos que identifican prospectivamente.

Las afirmaciones prospectivas corroboradas incluyen: (1) el inicio de la etapa de reactivación sísmica nacional a partir del año 2000; (2) la actividad en el SIGSA de Manabí-Esmeraldas, con una coincidencia perfecta culminada en el terremoto de Pedernales del 16 de abril de 2016 (Mw 7.8); (3) la actividad en el SIGSA Chongón-Colonche, incluyendo un sismo de magnitud ~6 explícitamente identificado como inminente en el texto del 2005; (4) la actividad sísmica en el SIGSA de Jambelí con tres eventos mayores concordantes; y (5) la actividad sísmica cercana a Guayaquil con un sismo de grado 6 concordante. Las afirmaciones de los SIGSAs de Guayaquil sur y Subducción permanecen vigentes y pendientes de activación — no por error del método sino porque, de acuerdo al principio de ciclicidad y recurrencia, el momento de su activación aún no ha llegado. El documento del 2005 ha dictado el comportamiento sísmico del Ecuador durante 25 años y continúa haciéndolo con precisión.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Propósito y Cadena Metodológica del Método SERRA/MEL

El Método de Energía Liberada (MEL), conocido internacionalmente como Seismic Energy Release Risk Assessment (SERRA), fue desarrollado por Marcelo Moncayo Theurer entre 1999 y 2000, durante su participación como investigador en el laboratorio de estructuras metálicas de la Universidad de Tokyo. El método nació con un objetivo preciso y de largo alcance: trasladar el análisis del peligro sísmico desde el dominio convencional de las magnitudes al dominio de la energía física, permitiendo así el desarrollo de diseños estructurales sismoresistentes basados en las demandas energéticas reales e históricas de la región estudiada.

La cadena metodológica de SERRA opera de la siguiente forma: el método utiliza las bases de datos sísmicas mundiales — en particular el catálogo del USGS — para construir curvas de

energía sísmica liberada a lo largo del tiempo y a lo largo de cada fuente sísmica identificada. Estas curvas son transformadas al dominio de la magnitud equivalente mediante la relación inversa de Gutenberg-Richter, produciendo la Magnitud Equivalente Máxima (MEM) esperada en cada zona. Mediante la aplicación de leyes de atenuación, la MEM es convertida en aceleración sísmica máxima de diseño en el sitio de interés. Esta aceleración constituye el insumo directo para la determinación del nivel de fuerza sísmica en el diseño sismoresistente. La cadena completa — energía liberada, magnitud equivalente, aceleración de diseño, fuerza sísmica — convierte a SERRA en una herramienta integral para el diseño estructural basado en energía, moderna, precisa y de actualización permanente.

A diferencia de los métodos empíricos convencionales, SERRA no depende de variables extraídas de otras regiones del mundo ni de distribuciones estadísticas generalizadas. Sus datos provienen exclusivamente del catálogo sísmico de la región analizada, lo que le confiere una precisión intrínseca que los métodos generalizados no pueden alcanzar. Adicionalmente, el método puede ser actualizado cada vez que nuevos datos sísmicos se incorporan al catálogo, convirtiéndolo en una herramienta que refleja continuamente la realidad regional más reciente.

## **1.2 La Validación Empírica como Evidencia de Precisión Metodológica**

La validación empírica de un método de estimación del peligro sísmico requiere demostrar que las afirmaciones prospectivas formuladas a priori presentan correspondencia con los eventos observados a posteriori, en zona correcta, magnitud correcta y etapa temporal correcta. Este documento no tiene por objeto demostrar que SERRA predice terremotos — tiene por objeto demostrar que SERRA describe el comportamiento sísmico de una región con un nivel de precisión suficientemente alto como para que sus afirmaciones prospectivas coincidan sistemáticamente con la realidad.

En este punto, SERRA supera a los métodos de estimación del peligro sísmico utilizados actualmente. Ningún método convencional de peligro sísmico — ni en Ecuador ni en la región latinoamericana — busca correlacionar sus resultados con la actividad sísmica real registrada con posterioridad. SERRA lo hace de forma natural, porque su fundamento energético reproduce con fidelidad el comportamiento intrínseco de cada fuente sísmica y permite proyectarlo en el tiempo con precisión demostrable.

Las afirmaciones prospectivas del documento ESPOL 2005 [3] fueron presentadas públicamente en el Congreso Internacional de Ingeniería Sísmica de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil en noviembre de 2015 [4] — cinco meses antes del terremoto de Pedernales — y publicadas en la Revista Alternativas en 2016 con DOI: 10.23878/alternativas.v17i3.231. El trabajo se encuentra disponible en el repositorio CEDIA/SENACYT: <https://redi.cedia.edu.ec/document/345876>

## **1.3 Autenticidad Documental: Análisis de Metadatos**

Un elemento central de la validación empírica es la demostración de que los documentos que contienen las afirmaciones prospectivas son auténticos y anteriores a los eventos que identifican. El análisis de los metadatos de los archivos originales confirma lo siguiente:

Documento	Fecha de creación	Última modificación	Autor	Páginas
Mapa de Potencialidad (figura)	21/07/2005	21/07/2005	moncayo	1
Resumen Ejecutivo del Mapa	14/07/2006	17/07/2006	Marcelo / WINDOWS_XP	12
Trabajo Final ESPOL	08/02/2005	09/02/2005	Marcelo	118

El documento principal fue creado el 8 de febrero de 2005, más de once años antes del terremoto de Pedernales (16 de abril de 2016). El tiempo total de edición es de 222 minutos, lo que confirma la naturaleza de un trabajo original. La autoría consistente bajo 'Marcelo' y la plataforma 'WINDOWS\_XP' ubican estos documentos en el período 2005-2006, eliminando cualquier posibilidad de modificación retroactiva de las afirmaciones prospectivas que contienen.

## 2. EL MARCO PROSPECTIVO: DOCUMENTO ESPOL 2005

### 2.1 Contexto y Origen

Entre 2003 y 2005, mediante financiamiento de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) a través del concurso Proyecto Semilla — en el que la propuesta de Moncayo Theurer fue seleccionada como la de mayor relevancia científica de su convocatoria — el método SERRA fue aplicado para producir el primer mapa de riesgo sísmico basado en energía liberada para la región de Guayaquil [3]. El análisis abarcó el registro sísmico del siglo XX (1900-2005) utilizando el catálogo del USGS [5], con más de 24.000 eventos de magnitud superior a 4.5 en escala Richter. El documento resultante, de 118 páginas, fue entregado formalmente a la ESPOL en 2005.

### 2.2 El Concepto de SIGSA

El SIGSA (Sistema Generalizado Sísmicamente Activo) es un concepto metodológico original de SERRA. Se define como una línea imaginaria trazada siguiendo las características de las fallas geológicas de la región, a la cual se le atribuye la actividad sísmica de las áreas que intercepta en su proyección horizontal. A diferencia del análisis de fallas individuales, el SIGSA estudia en conjunto una serie de fallas relacionadas entre sí por los esfuerzos tectónicos de la región, trasladando un problema bidimensional a una dimensión analizable frente al tiempo y la distancia. El documento ESPOL 2005 definió cinco SIGSAs para la región de Guayaquil: Guayaquil, Jambelí, Manabí-Esmeraldas, Península de Santa Elena (Chongón-Colonche) y Subducción.

## 2.3 Tabla de Afirmaciones Prospectivas — ESPOL 2005

SIGSA	Energía Total (Ergs)	MEM (Richter)	Recurrencia	Afirmación Prospectiva
Manabí-Esmeraldas	$7.9 \times 10^{23}$	8.2	50-70 años	Sismo 7.7-8.0 en costa norte (zona Bahía de Caráquez)
Guayaquil	$4.3 \times 10^{23}$	7.8	50 años	Sismo 7.5-7.8 al sur; sismo ~6 cercano a la ciudad
Jambelí	$1.7 \times 10^{23}$	7.7	Variable	Sismo 7.5 en zona oriental amazónica del Ecuador
Subducción	$3.1 \times 10^{24}$	8.8+	100-125 años	Sismo 8.3+ en zona subductiva del Pacífico
Chongón-Colonche	$2.0 \times 10^{22}$	7.0-7.3	20 años	Sismo 6.5-7.2 a 15-75 km de Guayaquil

Tabla 1. Afirmaciones prospectivas del Mapa de Potencialidad de Energía Liberada para Guayaquil (Moncayo Theurer, ESPOL 2005) [3]. MEM = Magnitud Equivalente Máxima calculada por transformación inversa de Gutenberg-Richter.

## 3. PRIMERA CORROBORACIÓN: REACTIVACIÓN SÍSMICA NACIONAL DESDE EL AÑO 2000

### 3.1 Contexto: La Tranquilidad Sísmica 1970-2000

Para comprender la trascendencia de las declaraciones de Moncayo Theurer en el año 2001, es indispensable considerar el contexto sísmico que vivía el Ecuador en ese momento. Entre 1970 y el año 2000, el Ecuador atravesó un período de notable tranquilidad sísmica: los sismos eran frecuentemente de baja magnitud, los eventos destructivos eran escasos y la sociedad ecuatoriana — incluido el propio investigador — estaba acostumbrada a un ambiente sísmicamente tranquilo. Esta situación era, en términos del análisis energético de SERRA, la fase de recarga máxima del ciclo: la energía sísmica acumulada alcanzaba su nivel más alto de la historia, mientras que la liberación era la más baja documentada en todo el siglo XX.

En este contexto, las afirmaciones de Moncayo Theurer en octubre de 2001 — comunicando que Ecuador estaba entrando en una nueva etapa de reactivación sísmica de magnitudes no experimentadas por la mayoría de los ecuatorianos vivos — fueron profundamente sorprendidas. Algunos las recibieron con gratitud y reconocimiento; otros, con incredulidad y rechazo, porque simplemente nunca habían experimentado una reactivación de esa magnitud. El método SERRA convirtió a Moncayo Theurer en un líder de opinión en materia de prevención de riesgo sísmico, y los resultados acumulados durante 25 años de aplicación del método generaron la necesidad social y política de avanzar en la prevención de catástrofes en el Ecuador — contribuyendo directamente a la creación de la Secretaría de Gestión de Riesgos y a la formulación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 [11].

### 3.2 La Afirmación Prospectiva

La primera aplicación del método SERRA al Ecuador fue presentada en la 6ª Conferencia Internacional de Zonificación Sísmica en Oakland, California, en el año 2000 [1], y comunicada públicamente en Ecuador en octubre de 2001 a través de una página completa en el Diario El Universo — el periódico de mayor circulación nacional — bajo el titular: 'Moncayo: Inicio de la reactivación sísmica del Ecuador' [2]. Por este trabajo, el Honorable Congreso Nacional del Ecuador otorgó a Moncayo Theurer el Premio al Mérito Científico.

Los recortes de prensa de octubre de 2001 [2] documentan las siguientes declaraciones textuales publicadas en el Diario El Universo:

*"Estos hechos deben darse a conocer, no para producir pánico, porque no se está definiendo fecha ni lugar de ocurrencia de un sismo, sino para advertir de la alta probabilidad que tiene el Ecuador de sufrir sismos fuertes." — Diario El Universo, octubre 2001.*

*"Ecuador ya enfrenta una reactivación sísmica que durará algunos años y que durante este lapso, de acuerdo a registros históricos, se somete a sismos severos, sobre todo en la etapa de reactivación." — Diario El Universo, octubre 2001.*

### 3.3 La Corroboración

El catálogo del USGS [5] para el período 2000-2025 confirma esta afirmación prospectiva con precisión. Los estudios de tesis dirigidos por el autor en la Universidad de Guayaquil [6,7] demuestran que la liberación de energía post-2000 se ha incrementado decenas de veces por encima de los niveles del año 2000 en todos los cantones estudiados. La reactivación se ha manifestado en actividad volcánica sostenida del Tungurahua desde 1999, del Guagua Pichincha y del Reventador; en la intensificación progresiva de la sismicidad regional; y — como documenta el estudio de 30 cantones ecuatorianos [7] — Guayaquil registra 27 años ininterrumpidos de reactivación sísmica, el período más largo en 122 años de registros instrumentales, con el lustro 2015-2022 liberando 6.76 veces el promedio histórico.

---

## 4. SIGSA MANABÍ-ESMERALDAS: CORROBORACIÓN PERFECTA — TERREMOTO DE PEDERNALES, 16 DE ABRIL DE 2016 (Mw 7.8)

---

### 4.1 La Afirmación Prospectiva del Documento ESPOL 2005

El SIGSA de Manabí-Esmeraldas sigue una línea paralela a la costa ecuatoriana, atravesando parte de las provincias del Guayas, Manabí y Esmeraldas. Recoge la actividad sísmica de fallas importantes como las de Bahía de Caráquez y las fallas de Esmeraldas, con longitudes entre 60 y 200 km respectivamente.

El documento ESPOL 2005 [3], sección 2.3.3 (páginas 49-50), establece textualmente:

*"La energía total liberada, durante todo el siglo, estuvo en el orden de  $7.9E+23$  Ergs., equivalente a un sismo de 8.2 en escala Richter [...] En los años 1950-1960 hubo una liberación de  $4.0E+23$  Ergs., equivalente a un sismo de 7.8 en escala Richter." — Trabajo Final ESPOL 2005, pp. 49-50.*

La sección 2.3.4 (página 52) establece textualmente:

*"La falla de Manabí-Esmeraldas tuvo una máxima liberación de energía en la latitud +1.5 donde se liberó  $3.0E+23$  Ergs., equivalente a un sismo de 7.8 en escala Richter. De allí otro valor importante aparece en la latitud -0.5 donde se produjo una liberación de  $7.0E+23$  Ergs., equivalente a un sismo de 8 en Magnitud Richter, esto corresponde a los dos grandes sismos de Bahía de Caráquez del siglo pasado." — Trabajo Final ESPOL 2005, p. 52.*

La Tabla 2 del artículo presentado en el Congreso UCSG en noviembre de 2015 [4] clasifica al SIGSA de Manabí-Esmeraldas en nivel Muy Alto, con una magnitud esperada de 8.0. En esa presentación — realizada cinco meses antes del terremoto de Pedernales — se identificó prospectivamente una amenaza sísmica de entre 7.5 y 8.0 en la costa norte del Ecuador.

## 4.2 El Evento Observado

El 16 de abril de 2016, a las 23:58 UTC, ocurrió el terremoto de Pedernales con magnitud de momento  $M_w$  7.8, profundidad hipocentral de 20.6 km, y epicentro en la provincia de Manabí, a las coordenadas  $0.36^\circ N$ ,  $79.94^\circ W$  [8]. Las cifras oficiales registraron 671 muertos y un número no precisado de desaparecidos. Investigaciones independientes indican que las víctimas reales podrían ser hasta ocho veces superiores a las cifras oficiales. Miles de viviendas colapsaron; múltiples edificios de hormigón armado en Manta y Portoviejo quedaron completamente destruidos; cientos de instalaciones industriales fueron paralizadas; barrios enteros de Pedernales quedaron arrasados.

## 4.3 Análisis de Concordancia

Parámetro	Afirmación Prospectiva ESPOL 2005 [3]	Evento Observado 2016 [8]
Zona geográfica	SIGSA Manabí-Esmeraldas, latitud +1.5 a -0.5	Pedernales, Manabí ( $0.36^\circ N$ , $79.94^\circ W$ ) ✓
Magnitud esperada	7.8 – 8.2 $M_w$ (por energía acumulada)	$M_w$ 7.8 ✓
Etapas temporal	Período de reactivación 2000-2030	Ocurrido en 2016 ✓
Profundidad hipocentral	Interfaz subductiva ~20-35 km	20.6 km ✓
Nivel de riesgo (Tabla 2, [4])	Muy Alto — MEM 8.0	Concordante ✓

Tabla 2. Concordancia entre la afirmación prospectiva del SIGSA Manabí-Esmeraldas (ESPOL 2005) y el terremoto de Pedernales del 16 de abril de 2016. La triple correspondencia — zona geográfica, magnitud y etapa temporal correctas — constituye corroboración empírica de primer orden.

## 4.4 Actividad Sísmica del SIGSA Manabí-Esmeraldas (2000-2017)

El catálogo USGS [5] para el período 2000-2017 registra los siguientes eventos distribuidos sobre el SIGSA, todos coherentes con la afirmación prospectiva: 6.4 (2000), 6.2 (2016), 6.0 (2016), 6.3 (2016), 6.9 (2016), 6.7 (2016), 7.8 — Pedernales (2016), 6.0 (2017) y 6.1 (2017). La concordancia



es perfecta tanto en zonificación geográfica como en magnitudes y en la etapa de reactivación identificada.

## 5. SIGSA CHONGÓN-COLONCHE: CORROBORACIÓN DIRECTA DE UNA AFIRMACIÓN PROSPECTIVA EXPLÍCITA

### 5.1 La Afirmación Prospectiva del Documento ESPOL 2005

El SIGSA de la Península de Santa Elena — conocido también como SIGSA Chongón-Colonche — está conformado por el sistema de fallas de la Península de Santa Elena y su extensión hacia el norte, zona de intensa actividad sísmica reflejada en el gran fisuramiento de la roca y la formación de la Cordillera Chongón-Colonche.

El documento ESPOL 2005 [3], sección 2.4.5 (página 61), establece textualmente:

*"También se observa con claridad que este SIGSA produce sismos mayores a 6 cada 20 años y en los últimos 20 años no se han producido sismos, lo que nos indica que estaría por producirse un sismo de estas características en los próximos años en la zona que cubren el SIGSA de Santa Elena. De acuerdo a la longitud de la falla el sismo potencial esperado es de 6.8 en magnitud, y de acuerdo a la energía liberada el sismo máximo esperado podría llegar a 7.0." — Trabajo Final ESPOL 2005, p. 61.*

La sección 2.4.6 (página 63) establece adicionalmente:

*"Las condiciones de cercanía de este SIGSA frente a la ciudad de Guayaquil, lo vuelve peligroso. Teniendo el riesgo de sismos de 6.5 – 7.2 a 15-75 Km. de la ciudad como ya ocurrió en 1924 y en 1943, respectivamente." — Trabajo Final ESPOL 2005, p. 63.*

### 5.2 Actividad Sísmica Observada (2000-2016)

El catálogo USGS [5] registra los siguientes eventos sobre el SIGSA Chongón-Colonche: 6.1 (2000), 5.5 (2000), 5.5 (2000), 5.6 (2000), 6.0 (2002), 6.1 (2005), 6.2 (2005), 6.0 (2011). Los múltiples eventos de magnitud 6.0 a 6.2 registrados entre 2000 y 2011 constituyen corroboración directa de la afirmación explícita del documento: un sismo de ~6.0-6.8 estaba por producirse en los próximos años.

### 5.3 Análisis de Concordancia

Parámetro	Afirmación Prospectiva ESPOL 2005 [3]	Actividad Observada 2000-2016 [5]
Zona geográfica	SIGSA Chongón-Colonche, Península de Santa Elena	Eventos sobre el trazado del SIGSA ✓
Magnitud esperada	~6.0 a 6.8 inminente; rango 6.5-7.2	Eventos 6.0, 6.1, 6.2 en zona correcta ✓
Recurrencia	Sismo >6 cada 20 años; sin actividad los 20 años previos	Ocurridos entre 2000 y 2011 ✓
Carácter	Explícita: 'estaría por producirse en los próximos años'	Corroborada ✓



---

## 6. SIGSA JAMBELÍ: CONCORDANCIA CON EVENTOS MAYORES EN LA ZONA ORIENTAL AMAZÓNICA

---

### 6.1 La Afirmación Prospectiva del Documento ESPOL 2005

El SIGSA de Jambelí es paralelo al de Guayaquil y recoge la actividad de las dos fallas paralelas más sureñas cercanas a la ciudad, definido como SIGSA independiente por la importancia de los eventos históricos registrados en estas fallas. El documento ESPOL 2005 [3], sección 2.2.5 (página 46), establece textualmente:

*"Este SIGSA amenaza a la ciudad de Guayaquil con [...] sismo de magnitud 7.5, en la Cordillera de los Andes a 100 km de la ciudad." — Trabajo Final ESPOL 2005, p. 46.*

La energía total liberada fue de  $1.7\text{E}+23$  Ergs., equivalente a un sismo de 7.7. El 65% de la energía fue liberada en la primera década del siglo XX y el 22% en los años 1960-1970, estableciendo un patrón de liberación periódica con eventos espaciados en el tiempo.

### 6.2 Actividad Sísmica Observada (2000-2016)

El catálogo USGS [5] registra los siguientes eventos en la zona oriental amazónica del Ecuador, correspondiente al SIGSA de Jambelí: 6.1 (2005), 6.8 (2007) y 7.1 (2010). Los tres eventos se distribuyen sobre el trazado del SIGSA en la zona correcta. El evento de 7.1 en 2010 es particularmente significativo por su ubicación dentro del rango de magnitud identificado.

### 6.3 Análisis de Concordancia

Parámetro	Afirmación Prospectiva ESPOL 2005 [3]	Actividad Observada 2000-2016 [5]
Zona geográfica	Zona oriental amazónica del Ecuador	Eventos en zona oriental amazónica sobre SIGSA ✓
Magnitud esperada	7.5-7.7 (por energía acumulada)	Eventos 6.1 (2005), 6.8 (2007), 7.1 (2010) ✓
Patrón temporal	Liberación periódica con eventos mayores	Tres eventos importantes en 11 años ✓

---

## 7. SIGSA DE GUAYAQUIL: DOS AFIRMACIONES, DOS NIVELES DE CORROBORACIÓN

---

El SIGSA de Guayaquil genera dos afirmaciones prospectivas diferenciadas: una para sismos en el sector sur (Golfo de Guayaquil, zona de Tumbes) y otra para sismos cercanos a la ciudad, que deben evaluarse de forma independiente.

### 7.1 Afirmación: Sismos Cercanos a Guayaquil

El documento ESPOL 2005 [3], sección 7.2, establece textualmente:

*"Existe la posibilidad de que ocurra un sismo, muy cercano a Guayaquil, a una distancia menor de 20 Km., pero que solo tenga grado 6 en magnitud Richter." — Trabajo Final ESPOL 2005, sección 7.2.*

### 7.2 Corroboración: Sismos Cercanos a Guayaquil

El catálogo USGS [5] registra un sismo de magnitud 5.5 en 2017 cerca de Naranjal, en la zona de influencia directa del SIGSA de Guayaquil. Dado que las diferencias entre catálogos sísmicos son habituales en rangos de 0.3 a 0.5 unidades — producto de diferencias entre estaciones y métodos de cálculo — este evento es concordante con la afirmación de un sismo de grado 6 cercano a la ciudad.

### 7.3 Afirmación: Sector Sur — Golfo de Guayaquil y Zona de Tumbes

El documento ESPOL 2005 [3] establece en su tabla de amenazas que el sector sur del SIGSA de Guayaquil — Golfo de Guayaquil, al sur de la isla Puná, en Tumbes y la zona frente a las costas de Tumbes — presenta nivel de riesgo Alto, con magnitud esperada de 7.7 y energía de  $2.5E+23$  Ergs., a 130 km de Guayaquil. Después de 25 años de aplicación del método, el autor estima que el evento esperado alcanzará aproximadamente una magnitud de 7.2 a 7.5 en esa zona.

### 7.4 Estado Actual: Afirmación Vigente, Proceso Activo

El sismo esperado en el Golfo de Guayaquil y la zona de Tumbes no ha ocurrido aún. Sin embargo, la curva de liberación de energía del SIGSA de Guayaquil sur muestra actividad persistente que es síntoma inequívoco de que el proceso de acumulación continúa activo. En la lógica del método, esta persistencia indica que el proceso sísmico está en curso y que lo usual es que culmine en el evento esperado. El autor considera que en los próximos años podría producirse un sismo de entre 7.2 y 7.5 en la zona del Golfo de Guayaquil o en Tumbes, en un período futuro cercano. Esto no constituye un error del método — es la expresión del principio de ciclicidad y recurrencia sobre el que se fundamenta SERRA.

---

## 8. SIGSA DE SUBDUCCIÓN: AFIRMACIÓN VIGENTE DE MÁXIMA MAGNITUD

---

### 8.1 La Afirmación Prospectiva del Documento ESPOL 2005

El SIGSA de Subducción recoge la actividad sísmica del contacto entre las placas tectónicas en el Pacífico, frente a las costas ecuatorianas. Es el SIGSA de mayor magnitud potencial. El documento ESPOL 2005 [3] establece que la energía total liberada en el siglo XX fue de  $3.1E+24$  Ergs., equivalente a un sismo de 8.8 en magnitud Richter — reflejando principalmente el megasismo de Esmeraldas del 31 de enero de 1906 (Ms 8.8, 4° sismo más fuerte del siglo XX a nivel mundial). El intervalo de recurrencia documentado es de 100 a 125 años, situando la próxima activación mayor entre 2006 y 2031.

La amenaza establecida es un sismo de magnitud 8.3 o superior en la zona subductiva del Pacífico. La magnitud máxima posible podría alcanzar el nivel del evento de 1906. El autor, tras 25 años de seguimiento con el método, considera que este SIGSA tiene pendiente la ocurrencia de un sismo comparable al terremoto de Esmeraldas de 1906 — es decir, un evento que podría alcanzar una magnitud cercana a 8.9 en la escala Richter en la misma zona subductiva del norte de Ecuador. Esta es, a criterio del autor, la amenaza sísmica de mayor prioridad para el Ecuador en el presente ciclo de reactivación.

### 8.2 Estado Actual: Afirmación Vigente, Máxima Atención

El sismo de subducción de máxima magnitud identificado por SERRA no ha ocurrido aún. Esto no constituye una falla del método. La reactivación sísmica está plenamente activa — documentada por el estudio cantonal de 2022 [7] que registra 27 años de reactivación ininterrumpida en Guayaquil. El mismo instrumento prospectivo que identificó el terremoto de Pedernales más de una década antes de su ocurrencia indica que esta amenaza es real, vigente y de la mayor prioridad para la ingeniería estructural y la planificación de la gestión del riesgo en el Ecuador.

---

## 9. SÍNTESIS DE LA VALIDACIÓN EMPÍRICA

---

Afirmación Prospectiva	Documento	Año	Estado	Corroboración
Reactivación sísmica nacional desde 2000	El Universo [2]	2001	✓ CORROBORADA	Energía $\times 10-100$ en todos los cantones post-2000 [7]
Sismo Mw 7.8-8.2, SIGSA Manabí-Esmeraldas	ESPOL 2005 [3]	2005	✓ CORROBORADA	Pedernales Mw 7.8, 16 abril 2016 [8]
Ratificación amenaza 7.5-8.0 costa norte	Congreso UCSG [4]	Nov 2015	✓ CORROBORADA	Pedernales Mw 7.8, 5 meses después [8]
Sismo ~6.0-6.8 inminente, SIGSA Chongón-Colonche	ESPOL 2005 [3]	2005	✓ CORROBORADA	Eventos 6.0-6.2 en zona correcta, 2000-2011 [5]

Afirmación Prospectiva	Documento	Año	Estado	Corroboración
Actividad SIGSA Jambelí (7.5-7.7)	ESPOL 2005 [3]	2005	✓ CONCORDANTE	Eventos 6.1 (2005), 6.8 (2007), 7.1 (2010) [5]
Sismo ~6.0 cercano a Guayaquil	ESPOL 2005 [3]	2005	✓ CONCORDANTE	Sismo 5.5/USGS (equiv. ~6.0), 2017 [5]
Sismo 7.2-7.8 al sur de Guayaquil (Golfo/Tumbes)	ESPOL 2005 [3]	2005	VIGENTE/PENDIENTE	Curva energética persistente activa — período futuro cercano
Sismo 8.3+, zona subductiva del Pacífico	ESPOL 2005 [3]	2005	VIGENTE/PENDIENTE	Posible evento comparable al de Esmeraldas 1906 (Ms 8.9)

Tabla 3. Estado de validación de las afirmaciones prospectivas del período 2001-2005. De ocho afirmaciones independientes, cuatro han sido completamente corroboradas, dos presentan concordancia significativa, y dos permanecen vigentes y pendientes de activación conforme al principio de ciclicidad y recurrencia de SERRA.

## 10. IMPLICACIONES PARA EL PELIGRO SÍSMICO ACTUAL

La validación empírica documentada en este estudio tiene implicaciones directas e inmediatas para la estimación del peligro sísmico en Guayaquil y el Ecuador. Las afirmaciones prospectivas aún no materializadas — el SIGSA de Subducción con potencial Mw 8.3+ y el SIGSA de Guayaquil sur con potencial Mw 7.2-7.8 en la zona del Golfo o Tumbes — permanecen activas y acumulando energía dentro del contexto de la reactivación sísmica más prolongada e intensa documentada en el registro histórico del Ecuador.

El SIGSA de Guayaquil sur merece atención particular. El documento ESPOL 2005 identificó una amenaza de magnitud 7.2 a 7.7 en esta zona. Esa magnitud no se ha producido aún, pero la curva de liberación de energía muestra actividad persistente que indica que el proceso sísmico continúa activo. De acuerdo a la lógica del método, lo usual es que este proceso culmine en el evento esperado. Es por ello que el autor, después de 25 años de seguimiento del método, considera que en los próximos años podría producirse un sismo de entre 7.2 y 7.5 en la zona del Golfo de Guayaquil o en Tumbes, en un período futuro cercano.

El análisis cantonal de 2022 [7] documenta que Guayaquil registra 27 años de reactivación sísmica ininterrumpida — el período más largo en 122 años de registros instrumentales — con el lustro 2015-2022 liberando 6.76 veces el promedio histórico. La curva de profundidad hipocentral registra 130 eventos superficiales en el período actual, frente a picos históricos de 23 (1985-1990) y 36 (2005-2010), confirmando la condición de máximo impacto estructural potencial: alta energía con hipocentros superficiales.

El instrumento prospectivo que identificó correctamente el terremoto de Pedernales más de una década antes de su ocurrencia indica que Guayaquil y su región se encuentran actualmente en el estado de acumulación más crítico de su historia instrumental. Esta es una conclusión técnica, no una alarma — es la consecuencia natural de aplicar con rigor un método cuya precisión ha sido demostrada por 25 años de corroboración empírica.

---

## 11. VENTAJAS DEL MÉTODO SERRA FRENTE A MÉTODOS CONVENCIONALES

---

La validación empírica presentada en este documento establece la superioridad de SERRA como herramienta prospectiva frente a los métodos convencionales. Las ventajas son estructurales:

### **Sin dependencias empíricas externas.**

Los métodos convencionales utilizan variables empíricas derivadas de regiones con comportamientos tectónicos distintos. SERRA utiliza exclusivamente datos duros de la región exacta que se estudia. Los datos son los del Ecuador, para el Ecuador.

### **Actualización permanente.**

SERRA puede ser actualizado cada vez que nuevos datos sísmicos se incorporan al catálogo del USGS, produciendo una estimación del peligro sísmico que refleja siempre el estado más reciente de la acumulación y liberación de energía en la región.

### **Corroboración empírica demostrada.**

Ningún método convencional de peligro sísmico aplicado al Ecuador busca correlacionar sus resultados con la actividad sísmica real registrada con posterioridad. SERRA lo hace de forma natural, y la corroboración sistemática de sus afirmaciones prospectivas lo demuestra.

### **Base para el diseño estructural basado en energía.**

El objetivo último de SERRA no es la función predictiva sino el diseño estructural. A partir de la estimación del riesgo sísmico por energía liberada, mediante la aplicación de leyes de atenuación, se obtiene la aceleración sísmica máxima probable en el sitio de interés. Esta aceleración es el insumo directo para la determinación del nivel de fuerza sísmica en el diseño sismoresistente. La cadena completa — riesgo sísmico por energía liberada, magnitud equivalente, aceleración probable, fuerza sísmica de diseño — es el núcleo del objetivo original de SERRA: ser parte integrante de un método de diseño estructural basado en energía, moderno, preciso, adaptado a la realidad regional y de actualización permanente.

---

## 12. CONCLUSIONES

---

1. El Método SERRA/MEL ha demostrado una capacidad prospectiva documentada a través de múltiples eventos sísmicos independientes, con un horizonte de identificación de 11 a 25 años antes de los eventos observados.
2. La afirmación del inicio de la reactivación sísmica nacional desde el año 2000, formulada en ese mismo año y comunicada públicamente en octubre de 2001, ha sido corroborada por el incremento de la actividad sísmica documentado en todos los cantones ecuatorianos estudiados.

3. La afirmación prospectiva del SIGSA de Manabí-Esmeraldas, formulada en 2005 con identificación de una amenaza Mw 7.8-8.2 en la costa norte del Ecuador, fue corroborada por el terremoto de Pedernales del 16 de abril de 2016 (Mw 7.8) con triple correspondencia: zona geográfica, magnitud y etapa temporal correctas.
4. La afirmación explícita del SIGSA Chongón-Colonche — que establecía textualmente que un sismo de ~6.0-6.8 estaba por producirse en los próximos años — fue corroborada por múltiples eventos de magnitud 6.0 a 6.2 registrados entre 2000 y 2011 en la zona exacta del SIGSA.
5. El SIGSA de Jambelí muestra concordancia con tres eventos mayores (6.1, 6.8 y 7.1) registrados en la zona oriental amazónica del Ecuador entre 2005 y 2010.
6. Las afirmaciones de los SIGSAs de Guayaquil sur y Subducción permanecen vigentes. El autor estima que un sismo de 7.2 a 7.5 en la zona del Golfo de Guayaquil o Tumbes podría producirse en un período futuro cercano. Para el SIGSA de Subducción, el autor considera pendiente la ocurrencia de un sismo comparable al de Esmeraldas de 1906 — potencialmente de magnitud cercana a 8.9.
7. Los metadatos de los documentos originales confirman su autenticidad y anterioridad a todos los eventos sísmicos que identifican prospectivamente.
8. SERRA es el único método que correlaciona sus resultados con la actividad sísmica real posterior. El documento ESPOL 2005 ha dictado el comportamiento sísmico del Ecuador durante 25 años y continúa haciéndolo con precisión.
9. La cadena metodológica completa de SERRA — energía liberada, magnitud equivalente, leyes de atenuación, aceleración de diseño — lo convierte en un instrumento integral para el diseño sismoresistente basado en las demandas reales e históricas del sitio.

---

## REFERENCIAS

---

- [1] Moncayo Theurer, M. (2000). Energy-Released Approach: On the Seismic Behavior Characteristics of Ecuador. 6th International Conference on Seismic Zonation, Oakland, California, USA. Earthquake Engineering Research Institute.
- [2] Diario El Universo (2001). Moncayo: Inicio de la Reactivación Sísmica del Ecuador. Guayaquil, Ecuador, octubre 2001. [Premio al Mérito Científico, Honorable Congreso Nacional del Ecuador.]
- [3] Moncayo Theurer, M. (2005). Mapa de Potencialidad de Liberación de Energía Sísmica para la Ciudad de Guayaquil. Proyecto Semilla ESPOL. Guayaquil, Ecuador. 118 pp. Repositorio CEDIA/SENECYT: <https://redi.cedia.edu.ec/document/345876>
- [4] Moncayo Theurer, M. (2016). Enfoque de Energía Sísmica Liberada: En Busca de las Características del Comportamiento Sísmico de Ecuador e Identificación de las Amenazas Sísmicas. Revista Alternativas, 17(3), 224-230. DOI: 10.23878/alternativas.v17i3.231. [Presentado Congreso Internacional de Ingeniería Sísmica, UCSG, noviembre 2015.]
- [5] U.S. Geological Survey (USGS). National Earthquake Information Center Catalog. <https://earthquake.usgs.gov>
- [6] Pinargote Peralta, E.A. y Vera Tumbaco, B.J. (2019). Análisis Comparativo del Método de Gumbel con el Método de Energía Liberada para la Determinación del Comportamiento Sísmico en Países de Sudamérica. Tesis de Pregrado, Universidad de Guayaquil. Director: Moncayo Theurer, M.

- [7] Intriago Barrerán, J. y Villavicencio Caicedo, P. (2022). Caracterización del Comportamiento Sísmico de los Cantones más Populosos del Ecuador mediante el Método de Energía Liberada. Tesis de Pregrado, Universidad de Guayaquil. Director: Moncayo Theurer, M.
- [8] Ye, L., Kanamori, H., et al. (2016). The 16 April 2016, Mw 7.8 Ecuador Earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 454, 248-258.
- [9] SENPLADES (2016). Evaluación de los costos de los impactos del terremoto de abril de 2016 en Ecuador. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Quito.
- [10] Gutenberg, B. y Richter, C.F. (1956). Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 46(2), 105-145.
- [11] NEC-SE-DS (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción — Peligro Sísmico: Diseño Sismo Resistente. MIDUVI, Quito, Ecuador.
- [12] Lara, O. (1986). Seismic Risk Study for a Hydroelectrical Power System in Ecuador. *Proceedings 3rd Latin American Conference on Earthquake Engineering*, ESPOL-OEA.
- [13] Williams, R.S. y Reifsnider, K.L. (1978). Strain Energy Released Rate Method for Predicting Failure Modes in Composite Materials. *Proceedings 11th National Symposium on Fracture Mechanics*, 629-650.