

2.3. - Escala medio-ambiental de intensidad sísmica ESI 2007 (Spanish)

TRADUCCIÓN: SILVA P. G. (1), PEREZ LÓPEZ R. (2), RODRÍGUEZ PASCUA M.A. (2)

Introducción

La intensidad sísmica se basa en la clasificación de los efectos causados por los terremotos sobre las personas, construcciones humanas (edificaciones e infraestructuras) y en el medio natural (efectos ambientales o geológicos). Este parámetro de tamaño sísmico proporciona una estimación de la severidad de la sacudida sísmica teniendo en cuenta los efectos producidos por el rango completo de frecuencias del movimiento ondulatorio así como de las deformaciones estáticas que se produzcan.

Todas las escalas de intensidades (Rossi-Forel, Mercalli, MCS, MSK, Mercalli Modificada) consideran los efectos sobre la naturaleza como elementos diagnósticos a la hora de evaluar la intensidad sísmica. No obstante, algunas escalas modernas (e.g., ESPINOSA *et alii*, 1976a; 1976b; GRUNTHAL, 1998) tan solo consideran los efectos sobre las personas y sobre las construcciones en la evaluación de intensidades, reduciendo drásticamente la relevancia diagnóstica de los efectos sobre la naturaleza aduciendo que tales efectos presentan una gran variabilidad y aleatoriedad siendo difíciles de cuantificar. A pesar de ello, estudios recientes (e.g. DENGLER & MCPHERSON, 1993; SERVA, 1994, DOWRICK, 1996; ESPOSITO *et alii*, 1997; HANCOX *et alii*, 2002;

MICHETTI *et alii*, 2004) aportan claras evidencias de que las características de los efectos ambientales o geológicos de los terremotos, son en la actualidad ampliamente clasificables a partir de fuentes históricas y análisis paleosismológicos, los cuales aportan una información esencial para la evaluación del tamaño de los terremotos y en particular de su intensidad.

Con este propósito se ha desarrollado la Escala de Intensidad ESI 2007 (MICHETTI *et alii*, 2007), la cual se encuentra basada exclusivamente en los efectos ambientales de los terremotos. Su uso, en solitario o integrada con otras escalas tradicionales, ofrece una mejor imagen de los escenarios sísmicos acontecidos ya que solo los efectos ambientales de los terremotos permiten la comparación aceptable de la severidad del movimiento del terreno en diferentes escalas temporales y zonas geográficas:

- *tiempo*: los efectos sobre la naturaleza pueden ser comparados para ventanas temporales (eventos sísmicos recientes, históricos y paleosismos) mucho más amplia que los periodos registrados por la sismicidad instrumental (último siglo).
- *diferentes áreas geográficas*: los efectos ambientales no dependen de las diferentes

(1) Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Spain.

(2) Area de Riesgos Geológicos. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, Spain.

condiciones socio-económicas de una zona, ni de las diferentes prácticas de construcción, ni del grado de urbanización de las zonas afectadas.

Así, esta nueva escala puede integrarse con las escalas sísmicas tradicionales:

- para intensidades sísmicas de grado superior o igual a X, en las que la evaluación de la intensidad basada en los daños llega a saturarse siendo difícil de estimar, mientras que los efectos ambientales todavía son diagnósticos.
- En áreas escasamente pobladas, donde los efectos sobre las construcciones pueden no existir

y por tanto la única manera viable de establecer la intensidad son los efectos ambientales, que son los únicos efectos diagnósticos disponibles.

La definición de los grados de intensidad es el resultado de una revisión de los efectos ambientales causada por un gran número de grandes terremotos a nivel mundial, llevada a cabo por un Grupo de Trabajo Internacional integrado por geólogos, sismólogos e ingenieros. La escala ESI 2007 fue ratificada por INQUA (International Union for Quaternary Research) durante el XVII INQUA Congress (Cairns, Australia) en el año 2007.

Descripción

La escala de intensidades ESI 2007 se encuentra estructurada en doce grados de intensidad. El título de cada grado de intensidad refleja la fuerza correspondiente del terremoto y el papel de los efectos sobre la naturaleza. En su descripción, se indica para cada grado en primer lugar las características y dimensiones de los efectos primarios. Seguidamente, los efectos secundarios son descritos en función del área total afectada y su distribución espacial para la determinación de la intensidad epicentral. Estos se encuentran agrupados en diferentes categorías ordenados por la secuencia de ocurrencia inicial. Los textos en *Cursiva* se han usado para resaltar aquellas descripciones que se consideran diagnósticas por sí mismas para un grado de intensidad dado.

Los Efectos Primarios se encuentran directamente relacionados con la energía sísmica liberada y en particular con la expresión en superficie de la fuente sismogénica. Las dimensiones o escala de los efectos primarios se expresan en términos de dos diferentes parámetros: i) La longitud de ruptura total (SRL); y ii) Desplazamiento máximo (MD). Su presencia se encuentra normalmente asociada a un valor de intensidad mínima (VIII), excepto en el caso de terremotos muy superficiales en zonas volcánicas. La cantidad de deformación superficial (elevación o subsidencia tectónica) también es considerada en la escala.

Los Efectos Secundarios constituyen cualquier fenómeno natural inducido por la sacudida sísmica y se clasifican en ocho grandes categorías:

- Anomalías Hidrológicas.*** Esta categoría incluye cambios en el caudal de fuentes, manantiales y cursos de agua, así como cambios en las propiedades físico-químicas de aguas superficiales y subterráneas (e.g. temperatura, turbidez, etc.). Estos efectos son diagnósticos para intensidades comprendidas entre IV y X.
- Oleaje anómalo y tsunamis.*** En esta categoría se incluyen: seiches en cuencas cerradas, desbordamientos de agua de estanques, lagos y presas, así como tsunamis. En el caso de los tsunamis, más que el tamaño propiamente dicho de la ola, se consideran sus efectos sobre el litoral (especialmente el runup, erosión litoral y cambios en la morfología de la línea de costa), sin olvidarse de aquellos efectos sobre las personas, edificaciones y estructuras que son tomados como diagnósticos de la intensidad sufrida. Los efectos catalogados pueden ocurrir a partir de intensidad IV, pero son más diagnósticos para intensidades IX a XII.

- c) **Agrietamientos y fisuración del terreno.** Los agrietamientos del terreno se describen en términos de su longitud (desde cm hasta algunos cientos de metros), anchura (desde mm a m) y densidad espacial. Son observables a partir de intensidad IV, pero se saturan (su tamaño no se incrementa) a partir de intensidad X.
- d) **Movimientos de ladera:** Esta categoría incluye todas las tipologías de procesos gravitacionales, incluyendo, caídas de rocas, deslizamientos y flujos de tierra. En aquellos casos en que el contexto litológico y geomorfológico es similar, los parámetros diagnósticos lo constituyen el volumen movilizado y el área total afectada. Estos efectos comienzan a ser patentes a partir de intensidad IV y se saturan (su tamaño no incrementa) a partir de intensidad X.
- e) **Agitación de Árboles y Vegetación:** Estos efectos son diagnósticos para intensidades de IV a X. These effects are diagnostic from IV to X degree. La definición de los grados de intensidad básicamente se ajusta a la propuesta por Dengler & McPherson (1993).
- f) **Licuefacción del terreno:** Esta categoría incluye volcanes de arena, eyecciones de agua, barro y arena, algunos tipos de expansión lateral, compactación y subsidencia del terreno. Sus dimensiones son diagnósticas para intensidades comprendidas entre los grados V y X. In this category are included sand volcanoes, water and sand fountains, some types of lateral spreading, ground compaction and subsidence. Their size is diagnostic for intensity degree from V to X.
- g) **Nubes de Polvo:** pueden desarrollarse a partir de intensidad VIII, típicamente en zonas áridas/secas.
- h) **Desplazamiento de cantos y rocas:** Estos efectos se observan a partir de intensidad IX. Las dimensiones de las rocas y bloques movilizados son consideradas como elementos diagnósticos para la asignación de intensidades. Estas evidencias indican que la aceleración del terreno es mayor que la de la gravedad y puede localmente ocurrir a partir de intensidad IX hasta XII.

Los efectos ambientales de los terremotos pueden observarse y catalogarse a partir de intensidad IV (fig. 2.2). Algunos tipos de efectos (anomalías hidrológicas) pueden incluso observarse en grados inferiores, pero no pueden considerarse como elementos diagnósticos. La precisión en la evaluación de intensidades aumenta hacia los grados más fuertes y, en particular en el rango de intensidades a partir de las cuales los efectos primarios comienzan a ser patentes (típicamente a partir de intensidad VIII) hasta intensidad XII- A partir de intensidad X comúnmente los efectos sobre las personas y construcciones se saturan (i.e. los edificios se encuentran generalmente completamente destruidos) y es virtualmente imposible diferenciar entre grados de intensidad. Es en este rango de intensidades donde los efectos ambientales son los dominantes, constituyendo la herramienta más valiosa (a veces la única) para la evaluación de intensidades.

Como usar la Escala de Intensidades ESI 2007

El uso de la escala ESI como una herramienta independiente para la evaluación de intensidades se recomienda únicamente cuando los efectos ambientales son diagnósticos debido a que los efectos sobre las personas o construcciones estén ausentes, sean muy escasos o se encuentren saturados. Cuando estos dos últimos tipos de efectos estén también disponibles será posible llevar a cabo dos estimaciones independientes de la intensidad. En general, la intensidad final que se obtenga tiene que ser igual al valor más alto obtenido mediante las dos evaluaciones. Obviamente, en este caso la participación de expertos es esencial.

La intensidad Epicentral (I_0) queda definida como la intensidad de la sacudida sísmica en el epicentro del terremoto. Los parámetros de las rupturas de falla así como el área total afectada por efectos secundarios (licuefacción y/o deslizamientos), son dos criterios independientes que pueden

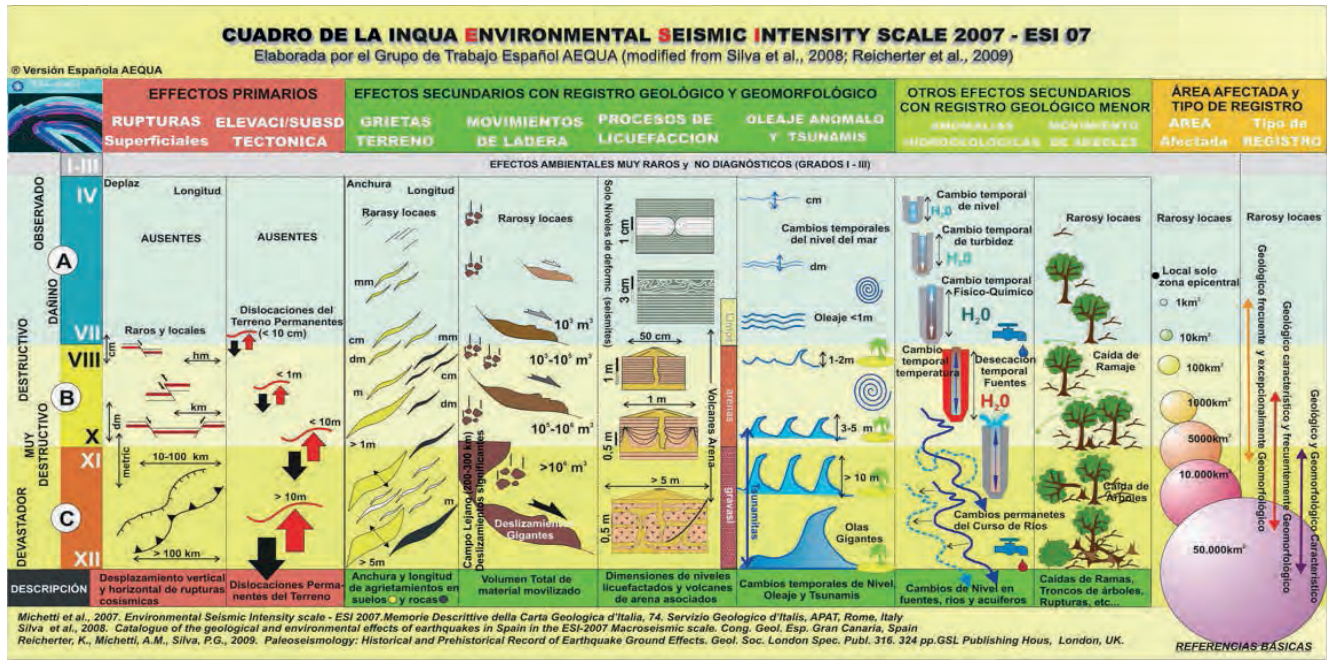


Fig. 2.2. - Esquema gráfico de los diferentes efectos geológicos y ambientales cosísmicos considerados en la Escala Macrosísmica ESI-2007. Se indica el tipo de registro geológico y/o geomorfológico más normal en cada uno de los grupos de categorías de intensidades. Figura Actualizada de la original según la versión en inglés publicada en REICHERTER *et alii*, 2009.

utilizarse para la evaluación de I_0 a partir de intensidad VII (tab. 2.1).

Hay que prestar especial atención cuando las dimensiones de las rupturas superficiales se encuentran próximas a los límites establecidos para dos grados de intensidades consecutivos. En estos casos se recomienda utilizar las características y distribución espacial de los efectos secundarios como criterio diagnóstico principal con el fin de evitar evaluaciones subjetivas. En cualquier caso, en la evaluación del área total afectada se recomienda no incluir efectos aislados ocurridos en campo lejano.

Tab. 2.1 - Rango de los parámetros de rupturas de falla (efectos primarios) y extensión areal típica del registro de los efectos secundarios para cada uno de los grados de intensidad ESI-2007

	LONGITUD DE LA RUPTURA DE FALLAS	MÁXIMO DESPLAZAMIENTO O DEFORMACIÓN	AREA TOTAL AFECTADA
IV	-	-	-
V	-	-	-
VI	-	-	-
VII	(*)	(*)	10 km ²
VIII	Cientos de metros	Centimétrico	100 km ²
IX	1- 10 km	5 - 40 cm	1000 km ²
X	10 - 60 km	40 - 300 cm	5000 km ²
XI	60 - 150 km	300 -700 cm	10000 km ²
XII	> 150 km	> 700 cm	> 50000 km ²

(*) Rupturas de falla de decenas a algunas centenas de metros de longitud y desplazamiento centimétrico, pueden desarrollarse asociadas a terremotos muy superficiales, generalmente ocurridos en zonas volcánicamente activas.

La intensidad Local puede evaluarse esencialmente a partir de la descripción de los efectos secundarios ocurridos en diferentes “sitios” una localidad determinada. Este tipo de intensidad tiene que

ser comparable con la determinada a partir de las escalas tradicionales basadas en daños. Hay que tener en cuenta que el concepto de “Localidad” puede tanto referirse a una zona habitada (pueblo, ciudad) como a un paraje natural sin asentamientos humanos. Cuando únicamente se encuentren disponibles efectos primarios, puede utilizarse para esta evaluación la expresión local de la ruptura de falla, en términos de máximo desplazamiento.

Definiciones de los grados de intensidad

I a III - EFECTOS NO PERCEPTIBLES EN EL AMBIENTE que puedan ser usados como diagnósticos

IV - AMPLIAMENTE OBSERVADO: Primeros efectos inequívocos sobre el Ambiente

Efectos primarios: ausentes.

Efectos secundarios:

- a) En raras ocasiones suceden pequeñas variaciones locales del nivel de agua en pozos y/o en el caudal de manantiales y fuentes. En muy raras ocasiones ocurren pequeñas variaciones de las propiedades físicas - químicas del agua y de la turbidez del agua en los lagos, manantiales, fuentes y pozos, especialmente dentro de grandes acuíferos kársticos que son los más propensos a este fenómeno.
- b) En cuencas cerradas (lagos e incluso mares) se pueden formar pequeños seiches centimétricos que comúnmente solo son detectados por los mareógrafos, aunque excepcionalmente pueden ser vistos. Característicos en el campo lejano de fuertes terremotos. Oleaje anómalo es percibido por todo el mundo en pequeñas embarcaciones, por algunas personas en barcos y por la mayoría en la costa. El gua de piscinas y estanques se agita y algunas veces puede desbordarse.
- c) Ocasionalmente, muy pocos casos de grietas muy finas (mm) en zonas donde la litología (ej. depósitos aluviales poco compactados, suelos saturados) y/o morfología (laderas escarpadas o cimas de colinas) son más propensos a este fenómeno.
- d) Excepcionalmente pueden ocurrir caídas de rocas, y pequeños deslizamientos existentes pueden reactivarse. Fundamentalmente en laderas donde el equilibrio es ya muy inestable (ej. laderas o cuestas, escarpadas y cortadas, desarrolladas sobre suelos saturados o material coluvial poco compactado, así como en cortes y taludes artificiales de caminos, carreteras, ferrocarriles y canteras o areneros a cielo abierto).
- e) Las ramas de los árboles pueden verse sacudidas.

V - FUERTE: Efectos marginales sobre el Ambiente

(Los efectos naturales afectan marginalmente al terreno y solo en ocasiones excepcionales dejan evidencia en el registro geológico -procesos de liquefacción-y en ningún caso afectan al registro geomorfológico permanente del paisaje afectado).

Efectos primarios ausentes.

Efectos secundarios:

- a) En raras ocasiones ocurren variaciones apreciables en el nivel de agua en pozos y/o caudal en manantiales y fuentes, así como pequeñas variaciones en las propiedades físico-químicas y turbidez del agua de lagos, manantiales, fuentes y pozos.
- b) En cuencas cerradas (lagos e incluso mares) se pueden formar pequeños seiches decimétricos que comúnmente pueden ser observados. Característicos en el campo lejano de fuertes terremotos. Oleaje anómalo de pocas decenas de centímetros es percibido por todo el mundo en todo tipo de embarcaciones y en la costa. Piscinas y estanques comúnmente se desbordan.

- c) Localmente se desarrollan finas grietas de anchura milimétrica, y longitud decimétrica a métrica, en zonas donde la litología (ej. depósitos aluviales poco compactados, suelos saturados) y/o morfología (laderas o escarpes de colinas) son más propensos a este fenómeno.
- d) En raras ocasiones ocurren caídas de rocas, deslizamientos rotacionales y flujos de tierras, a pequeña escala (muy locales), especialmente a lo largo de pendientes donde el equilibrio es inestable (ej. laderas o cuevas escarpadas sobre materiales sedimentarios poco compactados o suelos saturados, así como en cortes y taludes artificiales de caminos, carreteras, ferrocarriles y canteras o areneros a cielo abierto). Ocasionalmente se pueden generar pequeños deslizamientos submarinos que dan lugar a oleajes anómalos transitorios en zonas litorales.
- e) Las ramas de los árboles y arbustos se sacuden ligeramente y en muy raros casos pueden caer ramas muertas o frutos.
- f) Extremadamente raros casos de licuefacción (volcanes de arena) de pequeño tamaño (cm) en áreas propensas a este tipo de fenómeno (llanuras costeras y fondos aluviales recientes arenosos con nivel freático muy somero).

VI - LIGERAMENTE DAÑINO: Efectos moderados sobre el Ambiente

(Los efectos naturales pueden dejar alguna traza significativa en el terreno, pero por lo general con un grado de supervivencia en el paisaje muy corto, de semanas o pocos meses. El registro geológico de procesos de licuefacción y deslizamientos comienza a ser significativo).

Efectos primarios ausentes.

Efectos secundarios:

- a) Registro común de variaciones significativas en el nivel de agua en pozos y/o caudal en manantiales y fuentes, así como pequeñas variaciones en las propiedades físico-químicas y turbidez del agua de lagos, manantiales, fuentes y pozos.
- b) Oleaje anómalo de varias decenas de centímetros producen inundaciones limitadas en zonas de costa y ribera. Piscinas, estanques y pequeñas lagunas comúnmente se desbordan.
- c) *Ocasionalmente se observan **fracturas** de anchura milimétrica a centimétrica y longitud métrica en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. Especialmente a lo largo de pendientes escarpadas y márgenes (orillas) de ríos, donde pueden alcanzar de 1 a 2 cm de anchura. Algunas agrietamientos milimétricos pueden desarrollarse en carreteras pavimentadas (asfaltos / empedrados).*
- d) Ocasionalmente pueden ocurrir caídas de rocas y deslizamientos de hasta ca. 103 m³, especialmente donde el equilibrio es inestable y existen fuertes pendientes. (ej. Laderas o cuevas escarpadas sobre materiales sedimentarios poco compactados, suelos saturados, o rocas fracturadas / meteorizadas). Ocasionalmente pueden suceder eventos de deslizamientos submarinos o subacuáticos en zonas costeras y lagos generando oleaje anómalo que por lo general solo es detectado por registros instrumentales.
- e) Las ramas de árboles y arbustos son sacudidas visiblemente. Algunas pocas ramas inestables y copas de árboles pueden romperse y caer, dependiendo de la especie y del estado de madurez de los frutos.
- f) *En raras ocasiones pueden ocurrir casos de licuefacción (volcanes de arena), pequeños en tamaño (cm), en áreas propensas a este tipo de fenómeno como llanuras costeras y fondos aluviales recientes con nivel freático muy somero.*

VII - DAÑINO: Efectos apreciables sobre el Ambiente

(Los efectos naturales pueden dejar trazas significativas en el terreno, pero por lo general con un grado de supervivencia en el registro geomorfológico muy corto, de meses o pocos años, muy excepcionalmente permanentes. El registro geológico de procesos de licuefacción, deslizamientos comienza a ser bastante significativo en áreas propicias)

Efectos primarios: Muy raramente observados, casi exclusivamente en zonas volcánicas.

*Pueden generarse **rupturas superficiales de falla limitadas**, con longitud de decenas a centenares de metros y desplazamiento (offset) centimétrico, esencialmente asociadas a **terremotos tectó-volcánicos** muy superficiales.*

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 10 km².

- a) Localmente se registran variaciones significativas en el nivel de agua en pozos y/o caudal de manantiales y fuentes. Raramente, pequeños manantiales o fuentes pueden temporalmente secarse, y/o aparecer otros nuevos. Comúnmente se

producen variaciones apreciables en las propiedades físico-químicas y turbidez del agua de lagos, manantiales, fuentes y pozos.

- b) Olas anómalas, incluso de más de un metro de altura producen inundaciones limitadas en zonas de costa y ribera, dañando y arrastrando objetos de distintas dimensiones. Se producen desbordamientos en lagunas, estanques e incluso ríos. ESI-2007. Pág. 6
- c) *Fracturas de hasta 5 - 10 centímetros de ancho y centenares de metros de longitud son comúnmente observadas en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. Raramente también se observan fracturas de hasta 1 centímetro de ancho en materiales arenosos secos y suelos arcillosos. Son comunes las grietas centimétricas en caminos pavimentados (asfalto o empedrados).*
- d) Comúnmente ocurren deslizamientos aislados y dispersos en áreas especialmente propensas donde el equilibrio es inestable (ej. laderas o cuestas de alta pendiente sobre materiales sedimentarios poco compactados, suelos saturados o rocas fracturadas/meteorizadas). Caída de rocas apreciable en desfiladeros y gargantas escarpadas o acantilados costeros. Su tamaño es a veces considerable (10³ – 10⁵ m³). En materiales arenosos secos, areno-arcillosos y suelos arcillosos los volúmenes son normalmente hasta 100 m³. Rupturas, derrumbes y caídas (rocas) pueden afectar las orillas de los ríos y terraplenes o taludes artificiales (ej. cortes de caminos, canteras, etc.) desarrollados en materiales sedimentarios poco compactados o rocas fracturadas/meteorizadas. Se pueden generar deslizamientos submarinos o subacuáticos significativos que provocan oleajes anómalos en zonas costeras de mares y lagos observados por la mayoría de las personas en embarcaciones y puertos.
- e) *En zonas boscosas los árboles y arbustos son sacudidos vigorosamente. Muchas ramas y copas de árboles rompen y caen.*
- f) *Raros casos de licuefacción (volcanes de arena) de hasta 50 cm de diámetro pueden desarrollarse en áreas propensas a este tipo de fenómeno como (llanuras costeras y fondos aluviales recientes con nivel freático muy somero).*
- g) *En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.*
- h) Piedras e incluso pequeños cantos y troncos de árboles pueden ser arrojados al aire dejando huellas de caída en suelos blandos.

VIII - MUY DAÑINO: Efectos considerables sobre el Ambiente

(Los efectos naturales dejan trazas significativas y en algunas ocasiones permanentes en el terreno. El registro geomorfológico comienza a ser algo significativo y el registro geológico de rupturas de falla –excepcionalmente- procesos de licuefacción y deslizamientos ya toma un cuerpo notable).

Efectos primarios: Raramente observados.

Las rupturas de falla pueden alcanzar hasta varios centenares de metros de longitud, con desplazamientos (offset) de pocos centímetros (< 5 cm), particularmente durante terremotos muy superficiales, como ocurre en eventos tectó-volcánicos. Subsistencia o elevación tectónica de la superficie del terreno puede presentar valores máximos de orden centimétrico.

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 100 km².

- a) Los manantiales y fuentes pueden cambiar, generalmente de forma temporal, tanto su caudal y/o posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales y fuentes pequeñas pueden incluso secarse. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las propiedades físico-químicas y, más comúnmente la temperatura, cambia en manantiales y/o pozos. El agua de lagos, ríos y manantiales frecuentemente puede volverse turbia, incluso ligeramente fangosa. Localmente se pueden producir emisiones de gases normalmente sulfurosos.
- b) Olas anómalas de entre 1-2 m de altura producen inundaciones en zonas de costa y ribera, dañando y arrastrando objetos de distintas dimensiones. Se producen desbordamientos violentos en lagunas, estanques y ríos. Erosión y acumulación de restos flotantes en las playas, donde los arbustos e incluso árboles débilmente enraizados pueden ser arrancados y arrastrados hacia el interior.
- c) *Fracturas de hasta 50 centímetros de anchura y centenares de metros de longitud son comúnmente observadas en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. En raros casos pueden desarrollarse fracturas de hasta 1 cm de anchura en rocas competentes o firmes. Son comunes grietas decimétricas y pequeñas ondulaciones de presión en caminos y zonas pavimentadas (asfalto o empedrados).*
- d) Deslizamientos pequeños a moderados (10³ – 10⁵ m³) pueden ocurrir extensamente en áreas propensas. Raramente pueden también ocurrir en laderas de poca pendiente donde el equilibrio es inestable (ej. pendientes o laderas sobre materiales sedimentarios poco

compactados, suelos saturados o rocas fracturadas / meteorizadas). Caída de rocas en desfiladeros escarpados y acantilados costeros. Su tamaño es a veces grande (10s - 10⁶ m³). Algunos deslizamientos pueden ocasionalmente obtener valles estrechos causando lagos temporales e incluso permanentes. Rupturas, derrumbes y caídas (rocas) pueden afectar las márgenes (orillas) de los ríos, los terraplenes y taludes artificiales (p.ej. cortes de caminos, canteras, etc.) desarrollados en materiales sedimentarios poco compactados o rocas fracturadas/meteorizadas. Es común la generación de deslizamientos submarinos en zonas costeras. ESI-2007. Pág. 7

- e) *Los árboles se sacuden fuertemente. Muchas ramas se rompen y caen. Más raramente, troncos en equilibrio pueden desenraizarse y caer, especialmente en laderas con fuerte pendiente.*
- f) *Los Procesos de Licuefacción pueden ser frecuentes en el área epicentral, dependiendo de las condiciones locales. Los efectos más característicos son volcanes de arenas de hasta ca. 1 m de diámetro; chorros de agua (Water fountains) pueden ser visibles en aguas tranquilas de lagos someros (lagoones, salinas, zonas pantanosas); extensiones laterales y asentamientos locales (subsistencia hasta aprox. 30 cm) con agrietamientos paralelos a los cuerpos de agua (márgenes de ríos, lagos, canales y líneas de costa).*
- g) *En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.*
- h) *Piedras e incluso pequeños cantos y troncos de árboles pueden ser arrojados al aire dejando huellas de caída en suelos blandos.*

IX - DESTRUCTIVO: Los efectos en el ambiente son generalizados, constituyendo una fuente de peligrosidad considerable, y empiezan a ser importantes para la determinación de la intensidad.

(Los efectos naturales dejan trazas considerables y permanentes en el terreno. El registro geomorfológico de este tipo de eventos comienza a ser un dato muy significativo, mientras que en el registro geológico, rupturas de falla, procesos de licuefacción, deslizamiento y excepcionalmente tsunamis es una pauta común).

Efectos primarios: *Comúnmente observados.*

Las rupturas de falla pueden alcanzar una longitud de unos pocos kilómetros, con desplazamientos (offset) de algunas decenas de centímetros (10 – 20 cm). Subsistencia o elevación tectónica de la superficie del terreno con valores máximos de orden decímetro.

Efectos secundarios: *El área afectada es generalmente inferior o del orden de 1000 km².*

- a) *Las manantiales y fuentes pueden cambiar, generalmente de forma temporal, tanto su caudal y/o posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales y fuentes pueden incluso secarse. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las propiedades físico-químicas y, más comúnmente la temperatura, cambia en manantiales y/o pozos. El agua de lagos, ríos y manantiales frecuentemente puede volverse muy turbia, incluso ligeramente fangosa. Localmente se pueden producir emisiones de gases normalmente sulfurosos y, ocasionalmente tanto la hierba como los arbustos alrededor de estos puntos de emisión pueden arder.*
- b) *Se producen **Olas anómalas de varios metros** de altura en cuerpos de agua y cursos fluviales. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden incluso variar sus cursos, fundamentalmente ocasionado por procesos de subsistencia. Pueden aparecer y/o desaparecer pequeñas lagunas. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse **tsunamis peligrosos de algunos metros de runup** provocando la inundación de zonas extensas a lo largo del litoral. Erosión generalizada de las zonas de playa, donde los arbustos e incluso árboles pueden ser arrancados y arrastrados hacia el interior.*
- c) *Fracturas de hasta 100 centímetros de anchura y centenares de metros de longitud son comúnmente observadas en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. En rocas competentes o firmes pueden desarrollarse fracturas de hasta 10 cm de anchura. En caminos y zonas pavimentadas (asfalto o empedrados) es común el desarrollo de grinta decimétrica significativas, así como pequeñas ondulaciones de presión.*
- d) *Deslizamientos extensos y frecuentes en áreas propensas, incluso en laderas de poca pendiente en condiciones de equilibrio inestable (ej. pendientes o laderas escarpadas sobre materiales sedimentarios poco compactados, suelos saturados o rocas fracturadas / meteorizadas). Caída de rocas en desfiladeros escarpados y acantilados costeros. Su tamaño es frecuentemente grande (**10⁵ m³**) y a veces muy grande (**10⁶ m³**). Algunos deslizamientos pueden ocasionalmente obtener valles estrechos, causando lagos temporales e incluso permanentes. Las orillas de los ríos, así como terraplenes y taludes artificiales (ej. cortes de caminos, canteras, etc.) frecuentemente colapsan. Son frecuentes grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos en zonas costeras y lagos.*
- e) *Los árboles se sacuden vigorosamente. Las ramas y troncos de árboles de pequeño diámetro, frecuentemente se rompen y caen. Algunos árboles situados en laderas de fuerte pendiente pueden ser desenraizados y colapsar.*
- f) *Los Procesos de Licuefacción y eyección de agua son frecuente. Los efectos más típicos son: Volcanes de arena de hasta 3 m de diámetro; chorros de agua (Water fountains) pueden ser visibles en aguas tranquilas de lagos someros (lagoones, salinas, zonas pantanosas); extensiones laterales y asentamientos locales (subsistencia hasta ca. 30 cm), con agrietamientos paralelos a los cuerpos de agua (márgenes de ríos, lagos, canales y líneas de costa).*
- g) *En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.*

- h) *Pequeños cantos y troncos de árboles pueden ser arrojados al aire desplazándose varios metros (dependiendo de la pendiente del terreno) dejando huellas de caída en suelos blandos.*

X - MUY DESTRUCTIVO: Los Efectos Ambientales se convierten en una de las fuentes de peligrosidad dominantes y son esenciales para la evaluación de la intensidad.

(Los efectos Ambientales son dominante sobre otro tipo de criterios en la evaluación de los daños, son relevantes en el registro geomorfológico y fundamentales en el geológico, incluyendo el registro de tsunamis).

Efectos primarios: *Comienzan a ser importantes.*

Las rupturas de falla se convierten en un fenómeno característico. Pueden alcanzar una longitud de decenas de kilómetros, con desplazamientos (offset) decimétricos hasta unos pocos metros (ca. 1 - 2 m). Desarrollo de micrograbens y depresiones tectónicas alargadas en terremotos con hipocentros muy superficiales. En el caso de eventos tectó-volcánicos la longitud de las rupturas puede ser muy inferior. Puede ocurrir subsidencia o elevación tectónica del terreno con valores máximos de unos pocos metros.

Efectos secundarios: *El área afectada es generalmente inferior o del orden de 5000 km².*

- a) *Los manantiales y fuentes cambian significativamente tanto su caudal como su posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales y fuentes pueden secarse incluso permanentemente. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las propiedades físico-químicas de manantiales y/o pozos y, más comúnmente la temperatura en fuentes termales, sufren fuertes variaciones. El agua de manantiales, ríos e incluso grandes lagos a menudo se vuelve muy fangosa. Las emisiones de gases, normalmente sulfurosos, son comúnmente observadas. La hierba y los arbustos en el entorno de estos puntos de emisión pueden arder.*
- b) *Se producen **Olas anómalas** de **varios metros** de altura incluso en grandes lagos y ríos. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden sufrir significativos cambios de curso temporales e incluso permanentes, debido a la generalización de procesos de subsidencia. Pueden aparecer y/o desaparecer lagunas de entidad. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse **tsunamis de hasta 5 m de runup** provocando la inundación generalizada de zonas costeras bajas de hasta miles de metros de penetración tierra adentro. Pequeños bloques pueden ser arrastrados hacia el interior. Erosión significativa generalizada de las zonas costeras bajas que producen significativos cambios la geometría de la línea de costa. La mayoría de la vegetación litoral (arbustos y árboles) es mayoritariamente arrasada y arrastrada hacia el interior.*
- c) *Son frecuentes grandes grietas en el terreno con aberturas de hasta más de 1 m de anchura, principalmente en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. En rocas competentes pueden alcanzar varios decímetros de anchura. Se desarrollan grietas anchas en caminos pavimentados (asfalto o empedrados), acompañadas por significativas ondulaciones de presión. En suelos enlosados y bordillos de aceras pueden desarrollarse estructuras de tipo pop-up de altura centimétrica y de extensión métrica a decamétrica.*
- d) *Grandes deslizamientos y caídas de rocas (> 10⁵ - 10⁶ m³) son frecuentes, prácticamente con independencia del estado del equilibrio y pendiente de las laderas, causando lagos de obturación temporales o permanentes. Las márgenes de los ríos, terraplenes, taludes y excavaciones artificiales típicamente colapsan. Levees, terraplenes y represas de tierra pueden incluso sufrir serios daños*
- e) *Los árboles se sacuden fuertemente. Muchas ramas y troncos de árboles se rompen y caen. Algunos árboles pueden ser desenraizados y colapsar incluso en laderas de poca pendiente.*
- f) *Los Procesos de Licuefacción, eyección de agua y compactación del suelo pueden cambiar el aspecto de extensas zonas, aplanando la topografía de llanuras costeras y llanuras de inundación fluviales y aluviales; volcanes de arenas de hasta aproximadamente 6 m de diámetro. Los procesos de subsidencia > 1m produciendo grandes y largas grietas debido a extensiones laterales son comunes a lo largo de márgenes de ríos, lagos, y canales. Grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos son frecuentes en zonas costeras y lagos.*
- g) *En zonas secas o semiáridas, pueden levantarse nubes de polvo en el área epicentral.*
- h) *Cantos y bloques (de hasta 2-3 metros de diámetro) pueden ser arrojados al aire desplazándose centenares de metros incluso en zonas de suave pendiente, dejando trazas y huellas de caída en suelos blandos.*

XI - DEVASTADOR: Los Efectos Ambientales se hacen totalmente esenciales para evaluar la intensidad debido a la saturación de los daños estructurales en edificaciones

(Los efectos Ambientales llegan a ser esenciales para evaluaciones de Intensidad dada la casi total saturación de otro tipo de criterios para estimar los niveles de daños)

Efectos primarios: Dominantes.

Las rupturas de falla primarias pueden extenderse desde varias decenas de kilómetros hasta unos 100 km, acompañadas por desplazamientos de varios metros (> 2m). Es patente el desarrollo de fosas tectónicas, depresiones alargadas y lomas de presión. Las líneas de drenaje pueden desplazarse ostensiblemente. Puede ocurrir subsidencia o elevación tectónica del terreno con valores de muchos metros.

Efectos secundarios: El área afectada es generalmente inferior o del orden de 10.000 km².

- a) Los manantiales y fuentes cambian significativamente tanto su caudal como su posición altimétrica (sobrepresión). Algunos manantiales y fuentes pueden secarse incluso permanentemente. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las propiedades físico-químicas de manantiales y/o pozos y, más comúnmente la temperatura en fuentes termales, sufren fuertes variaciones. El agua de manantiales, ríos e incluso grandes lagos a menudo se vuelve muy fangosa. Las emisiones de gases, normalmente sulfurosos, son comúnmente observadas. La hierba y los arbustos en el entorno de estos puntos de emisión pueden arder.
- b) *Se producen **Olas anómalas de varios metros** de altura incluso en grandes lagos y ríos. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden sufrir significativos cambios de curso temporales e incluso permanentes, debido a la generalización de procesos de subsidencia y desplomes de los márgenes. Pueden aparecer y/o desaparecer lagunas de entidad. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse **tsunamis de hasta 15 m de runup** provocando la inundación y devastación de vastas zonas costeras bajas con penetraciones kilométricas tierra adentro. Incluso bloques de diámetro métrico pueden ser arrastrados hacia el interior a lo largo de grandes distancias. Erosión importante generalizada de las zonas costeras bajas que producen cambios muy notorios en la geometría de la línea de costa. La vegetación litoral (arbustos y árboles) es arrasada y arrastrada hacia el interior.*
- c) Son muy frecuentes grandes grietas en el terreno con aberturas de varios metros de anchura, principalmente en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados. En rocas competentes pueden alcanzar hasta 1 m de anchura. Grietas muy anchas se desarrollan en caminos pavimentados (asfalto o empedrados), acompañadas por grandes ondulaciones de presión. En suelos enlosados y bordillos de aceras pueden desarrollarse estructuras de tipo pop-up de altura centimétrica y de extensión métrica a decamétrica.
- d) Grandes deslizamientos y caídas de rocas (> 10⁵ - 10⁶ m³) son frecuentes, independientemente del estado de equilibrio y pendiente de las laderas, causando lagos de obturación temporales o permanentes. Los márgenes (orillas) de los ríos, terraplenes, taludes y excavaciones artificiales típicamente colapsan. Terraplenes y represas de tierra pueden incluso incurrir en serios daños. Deslizamientos considerables pueden tener lugar hasta 200-300 kilómetros de distancia epicentral. Grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos son frecuentes en zonas costeras y lagos.
- e) *Los árboles se sacuden violentamente. Muchas ramas se rompen y caen. Incluso árboles enteros pueden desenraizarse del terreno y caer peligrosamente.*
- f) Los Procesos de Licuefacción cambian el aspecto de extensas zonas, aplanando la topografía de llanuras costeras y llanuras de inundación fluviales y aluviales, acompañadas por procesos de subsidencia generalizados que pueden exceder varios metros. Los volcanes de arena de gran tamaño son numerosos; grandes y largas grietas debido a extensiones laterales afectan severamente a los márgenes de ríos, lagos y canales.
- g) En áreas secas, se levantan grandes nubes de polvo.
- h) *Grandes bloques, incluso de varios metros de diámetro pueden ser arrojados al aire desplazándose cientos de metros, incluso en laderas de poca pendiente, dejando impresiones o huellas características en suelos blandos o poco consolidados.*

XII - COMPLETAMENTE DEVASTADOR: Efectos Ambientales son el único criterio para determinar la intensidad

(Los efectos Ambientales son ahora la única herramienta disponible para evaluar la intensidad, los demás criterios para estimar el nivel de daños se encuentran saturados por el colapso generalizado de todo tipo de construcciones)

Efectos primarios: *Dominantes.*

Las rupturas de falla se extienden como mínimo varios centenares de kilómetro, acompañadas por desplazamientos de hasta decenas de metros. Es patente el desarrollo de grandes fosas tectónicas, depresiones alargadas y lomas de presión. Las líneas de drenaje pueden desplazarse ostensiblemente. Los cambios en el paisaje y en la geomorfología inducidos por estas rupturas primarias pueden alcanzar tamaños y extensiones extraordinarios (ejemplos típicos son la elevación y/o subsidencia de líneas costa de hasta varios metros, la aparición o desaparición de la vista de elementos paisajísticos significativos, los ríos cambian de curso, formación de cascadas, y formación o desaparición de lagos).

Efectos secundarios: *El área afectada es generalmente inferior o del orden de 50.000 km².*

- a) Los manantiales y fuentes cambian significativamente tanto su caudal como su posición altimétrica (sobrepresión). Algunas manantiales y fuentes pueden secarse incluso permanentemente. Las variaciones en el nivel del agua en los pozos son comunes y significativas. Las propiedades físico-químicas de manantiales y/o pozos y, más comúnmente la temperatura en fuentes termales, sufren fuertes variaciones. El agua de manantiales, ríos e incluso grandes lagos a menudo se vuelve muy fangosa. Las emisiones de gases, normalmente sulfurosos, son comúnmente observadas. La hierba y los arbustos en el entorno de estos puntos de emisión pueden arder.
- b) *Desarrollo de **Olas gigantes en lagos y ríos que causan importantes inundaciones en las zonas de ribera. En zonas de llanura de inundación los cauces de agua pueden sufrir significativos cambios de curso permanentes, e incluso invertirse el sentido de la corriente, debido a la generalización de procesos de subsidencia y desplomes de los márgenes. Pueden aparecer y/o desaparecer lagos de extensión significativa. Dependiendo de la topografía de la línea de costa y el fondo marino, pueden producirse tsunamis de varias decenas de metros de runup provocando la inundación y devastación de vastas zonas costeras bajas con penetraciones de varios kilómetros tierra adentro. Grandes bloques pueden ser arrastrados hacia el interior a lo largo de grandes distancias. Erosión devastadora y generalizada de las zonas costeras bajas que producen cambios muy notorios en la geometría de la línea de costa. La vegetación litoral (arbustos y árboles) es arrasada y arrastrada hacia el interior.***
- c) Grandes grietas en el terreno con aberturas de varios metros de anchura son muy frecuentes, de hasta más de 1 metro en el sustrato rocoso competente, y de hasta más de 10 metros en depósitos aluviales poco compactados y/o suelos saturados, donde pueden extenderse a lo largo de varios kilómetros de longitud. En suelos enlosados y bordillos de aceras pueden desarrollarse estructuras de tipo pop-up de altura centimétrica y de extensión métrica a decamétrica.
- d) Grandes deslizamientos y caídas de rocas (> 10⁵ - 10⁶ m³) son frecuentes, independientemente del estado de equilibrio y pendiente de las laderas, causando muchos lagos de obturación temporales o permanentes. Las márgenes (orillas) de los ríos, terraplenes, taludes y excavaciones artificiales típicamente colapsan. Terraplenes y represas de tierra pueden incluso incurrir en serios daños. Deslizamientos considerables pueden tener lugar en hasta 200-300 kilómetros de distancia epicentral. Grandes deslizamientos submarinos o subacuáticos son frecuentes en zonas costeras y lagos.
- e) Los árboles se sacuden violentamente. Muchas ramas se rompen y caen. Incluso árboles enteros pueden desenraizarse del terreno y caer peligrosamente.
- f) Los Procesos de Licuefacción cambian el aspecto de extensas zonas, aplanando la topografía de llanuras costeras y llanuras de inundación fluviales y aluviales, acompañadas por procesos de subsidencia generalizados que pueden exceder varios metros. Los volcanes de arena de gran tamaño son muy numerosos; grandes y largas grietas debido a extensiones laterales afectan severamente a las márgenes de ríos, lagos y canales.
- g) En áreas secas, se levantan grandes nubes de polvo.
- h) *Bloques de grandes dimensiones pueden ser arrojados al aire desplazándose cientos de metros, incluso en laderas de poca pendiente, dejando impresiones o huellas características en suelos blandos o poco consolidados.*