

## 4. ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD

### 4.1. INTENSIDAD Y MAGNITUD

A la hora de definir el tamaño de un terremoto, se suelen utilizar dos parámetros, el primero de ellos, por motivos de la no existencia de aparatos de medida, época pre instrumental, se utilizaba el parámetro de la **Intensidad**, que es un parámetro subjetivo pero que nos permite de alguna forma medir el tamaño de un terremoto (es un parámetro cualitativo). El segundo parámetro es la **Magnitud** corresponde al periodo instrumental, nos permite medir un episodio sísmico de una forma cuantitativa mediante el uso de instrumentos.

- **Intensidad:** Se define como el efecto que un terremoto produce sobre el entorno en el que sucede, es decir, como lo sienten o perciben las personas, qué daños produce en las estructuras y en los elementos constructivos de las edificaciones, así como la afección sobre el paisaje. En definitiva se trata de una medida cualitativa y, por tanto, subjetiva de la fuerza liberada por el terremoto.

Inicialmente, fueron Rossi y Forel en 1883, los que propusieron la primera escala dividida en diez grados y que fue modificada por Mercalli en 1902. Esta última sirvió de base a las que existen en la actualidad y que son: la Mercalli Modificada (MM) propuesta por Wood y Newmann (1931) y Richter (1958) y la propuesta por Medvedev (1962), Sponheuer y Karnik (1964) denominada (MSK) y que ha sido utilizada en Europa desde 1967. Ambas poseen doce grados de intensidad. En 1992, la escala MSK fue actualizada y se denominó EMS-92, volviendo a ser actualizada en 1998 (EMS-98) European Macroseismic Scale, siendo ésta la utilizada en Europa en la actualidad y es la que se tendrá en cuenta en el estudio de este Plan Sísmico de Málaga.

- **Magnitud:** Las escalas de magnitud son logarítmicas, representan una valoración cuantitativa (instrumental) indirecta de la energía liberada por un terremoto, basada en el movimiento del suelo registrado en los sismogramas.

A diferencia de estas últimas escalas de magnitud, la **Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)** contempla los siguientes grados como una medida de la severidad del movimiento del suelo. Contemplando los 12 grados siguientes:

GRADO	DESCRIPCIÓN
I. No sentido	a) No sentido, aun en las condiciones más favorables. b) Sin efecto. c) Sin daños.
II. Apenas sentido	a) El temblor es sentido sólo en casos aislados (< 1%) por individuos en reposo y en una posición especialmente receptiva en el interior de un edificio o vivienda. b) Sin efecto. c) Sin daños.



<b>III. Débil</b>	<p>a) El temblor es sentido en el interior de viviendas y edificios por algunas pocas personas. Las personas en reposo sienten un balanceo lento o temblor leve.</p> <p>b) Los objetos colgantes se mecen levemente.</p> <p>c) Sin daños.</p>
<b>IV. Observado ampliamente</b>	<p>a) El temblor es sentido por muchas personas en el interior y sólo por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas se despiertan. El nivel de vibración no es alarmante. La vibración es moderada. Los observadores sienten un leve temblor o balanceo del edificio, dormitorio, cama, silla, etc.</p> <p>b) La porcelana, vasos, ventanas y puertas traquetean. Los objetos colgantes se balancean. Los muebles ligeros vibran notablemente en algunos pocos casos. En algunos casos los objetos de carpintería crujen.</p> <p>c) Sin daños.</p>
<b>V. Fuerte</b>	<p>a) El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por pocos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas pocas personas se asustan y corren al exterior. Muchas personas se despiertan. Los observadores sienten una fuerte vibración del edificio, dormitorio o de los muebles.</p> <p>b) Los objetos colgantes se mecen considerablemente. La porcelana y los vasos entrechocan y repiquetean. Los objetos pequeños que son más pesados en su parte alta o bien los objetos que se sostienen de forma precaria se pueden mover o caer. Las puertas y ventanas se abren o se cierran. En algunos pocos casos los cristales de las ventanas se pueden quebrar. Los líquidos oscilan y se pueden derramar de contenedores llenos hasta el borde. Los animales en el interior se pueden inquietar.</p> <p>c) Daños de grado 1 en algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad A y B.</p>
<b>VI. Daños leves</b>	<p>a) El temblor es sentido por la mayoría en el interior y por muchos en el exterior de viviendas o edificios. Algunas personas pierden el equilibrio. Muchas personas se asustan y corren al exterior.</p> <p>b) Los objetos pequeños de estabilidad normal pueden caerse y los muebles pueden desplazarse. En algunos casos se pueden romper platos y vasos. Los animales de granja se pueden asustar (incluso aquellos que se encuentran en el exterior).</p> <p>c) Daños de grado 1 a muchos edificios de clase de vulnerabilidad A y B; algunos pocos de clase A y B sufren daños de grado 2; algunos pocos de la clase C sufren daños de grado 1.</p>
<b>VII. Daños</b>	<p>a) La mayoría de las personas se asustan y tratan de correr hacia el exterior. A muchos les cuesta mantenerse de pie, especialmente en los</p>



	<p>pisos altos.</p> <p>b) Los muebles se desplazan y los muebles que son más pesados en su parte superior pueden volcarse. Se caen los objetos de los estantes en gran número. El agua salpica en los contenedores, tanques y piscinas.</p> <p>c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p> <p>Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2.</p> <p>Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 1.</p>
<b>VIII. Daños severos</b>	<p>a) Mucha gente encuentra difícil mantenerse de pie, incluso en el exterior.</p> <p>b) Los muebles pueden volcarse. Se caen los objetos tales como televisiones, máquinas de escribir, etc. Las lápidas pueden desplazarse o caerse. Se pueden ver ondas en suelos muy suaves.</p> <p>c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p> <p>Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2.</p>
<b>IX. Destructivo</b>	<p>a) Pánico general. El terremoto tira a la gente al suelo.</p> <p>b) Muchos monumentos y columnas se caen o se retuercen. Se ven ondas en suelos suaves.</p> <p>c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p>

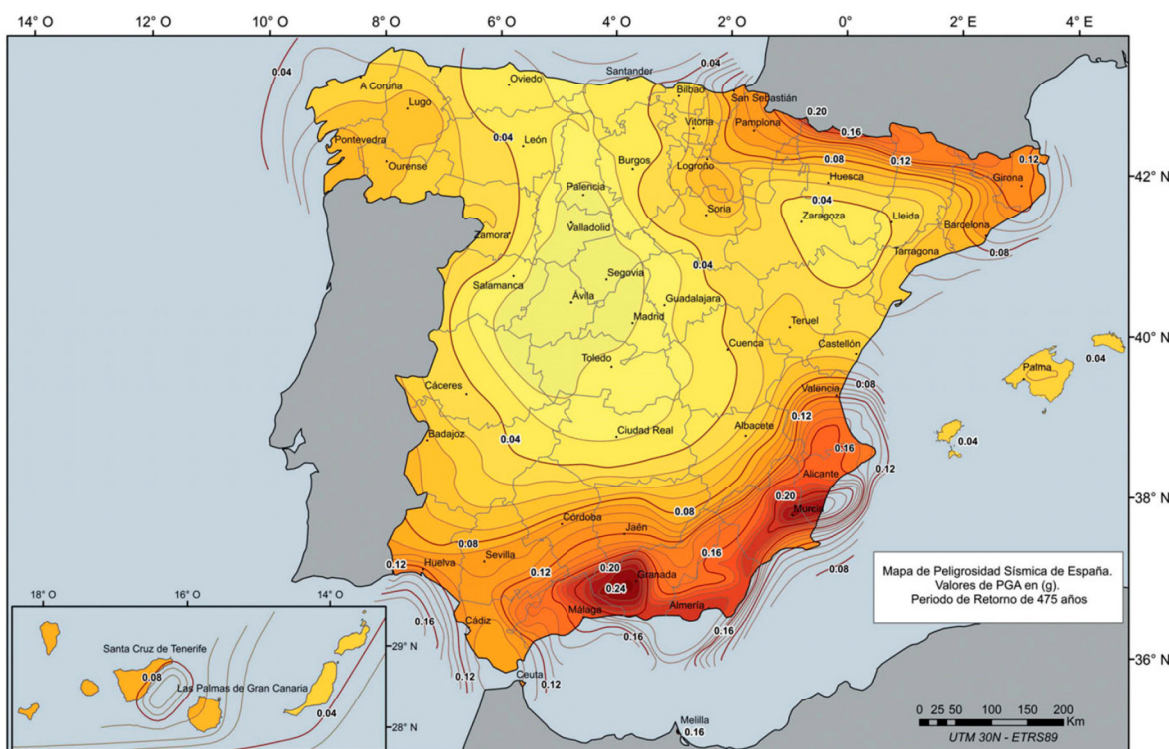
	Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2.
<b>X. Muy destructivo</b>	<p>c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p> <p>Algunos pocos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2.</p>
<b>XI. Devastador</b>	<p>c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.</p> <p>La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4 y muchos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4 y algunos pocos de grado 5.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3 y algunos pocos de grado 4.</p> <p>Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2 y algunos pocos de grado 3.</p>
<b>XII. Totalmente devastador</b>	<p>c) Todos los edificios de clase de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C quedan destruidos. La mayoría de los edificios de las clases D, E y F quedan destruidos.</p> <p>Los efectos del terremoto alcanzan los efectos máximos concebibles.</p>
<b>Estructura de la escala:</b>	
<p>a) Efectos en las personas</p> <p>b) Efectos en objetos o en la naturaleza</p> <p>c) Daños a edificios</p>	
<p><i>*Cada grado de intensidad puede incluir también los efectos de vibración del grado o grados de intensidad inferior correspondientes, aun cuando estos efectos no se mencionen explícitamente.</i></p>	

**Tabla 10.** Grados de la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98)

## 4.2. CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO SÍSMICO ESPERADO EN MÁLAGA (SISMICIDAD HISTÓRICA)

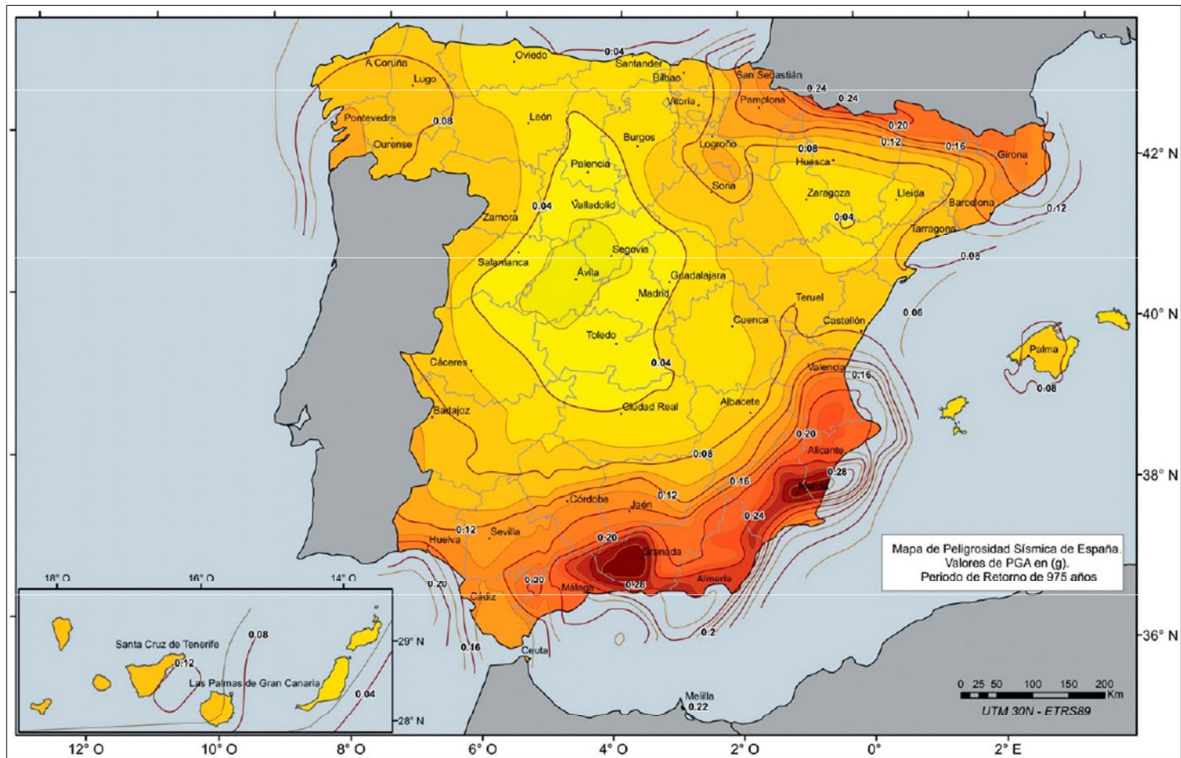
A escala nacional, podemos observar en las siguientes imágenes, los mapas de peligrosidad existentes para España (2012), en valores de Aceleración Pico de Suelo (PGA) y esperada para un periodo de retorno de 475 y 975 años.

El mapa de periodo de retorno de 475 años muestra valores máximos en la zona SE de España (cuenca de Granada y Bajo Segura, donde se llega a 0.24 g) y a lo largo de la frontera hispano-francesa. La mayor parte de Andalucía, Murcia, la mitad sur de la Comunidad Valenciana, la parte norte de las provincias de Navarra, Huesca, Lérida, Gerona y Barcelona superan el valor esperado de PGA de 0.08 g. El valor de la PGA para este periodo de retorno en el término municipal de Málaga es de 0.16 g.



**Figura 05.** Mapa de peligrosidad sísmica de España (2012) en valores de PGA en (g). Periodo de retorno de 475 años. Fuente: IGN

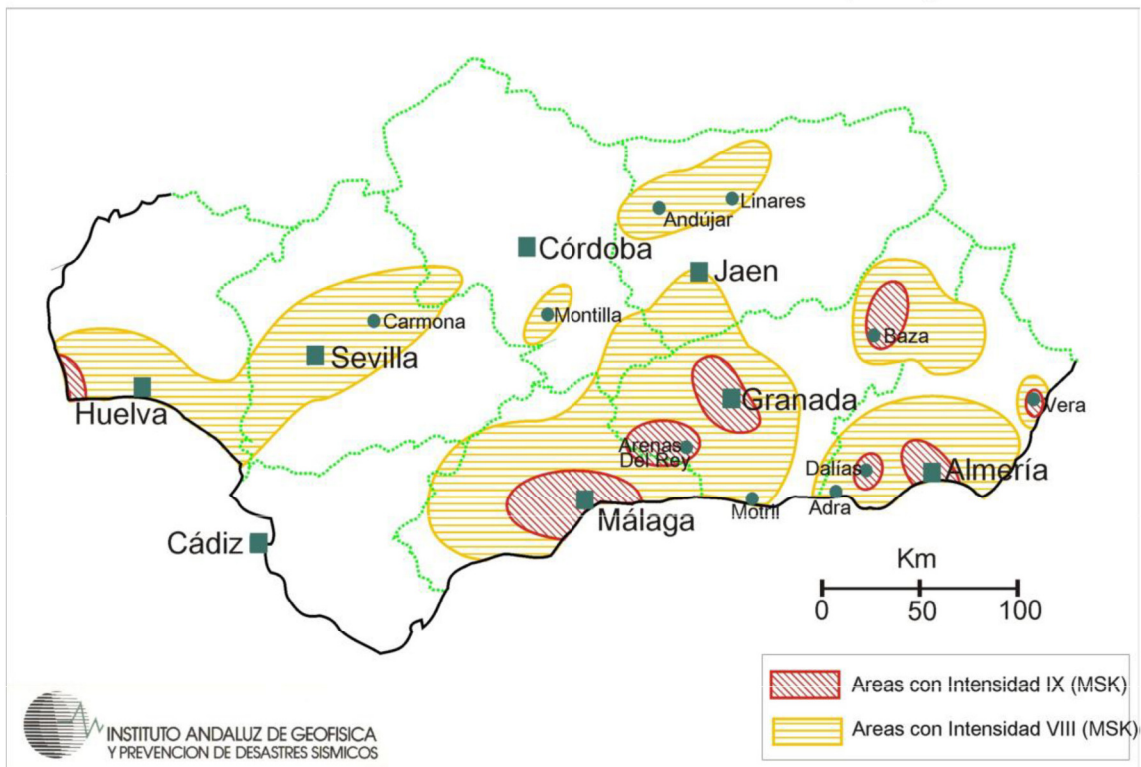
Por otro lado, el mapa de aceleración pico del terreno (PGA) esperada para periodo de retorno de 975 años presenta a Málaga como una de las zonas de España de mayor sismicidad de la Península Ibérica, junto a otras provincias como Almería, Granada, Murcia, Alicante, sur de Valencia, norte de Gerona, de Lérida, de Barcelona, de Huesca y de Navarra, excediendo el valor de 0.12 g. El caso concreto del municipio de Málaga ronda la isolínea de 0.22 g.



**Figura 06.** Mapa de peligrosidad sísmica de España (2012) en valores de PGA en (g). Período de retorno de 975 años. Fuente: IGN

En una escala autonómica, la actividad sísmica registrada instrumentalmente por la Red Sísmica de Andalucía perteneciente al Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos (IAGPDS) ha puesto de manifiesto la distribución espacial de la misma en el sur de la Península Ibérica. La escasez de sacudidas sísmicas violentas desde que existen los instrumentos de medida ha impedido analizar instrumentalmente las características de éstas para terremotos de magnitud alta a lo largo del siglo XX y posterior, y los que se han podido registrar, lo han hecho con unas estaciones demasiado alejadas de los focos sísmicos. De ahí el interés de los estudios de sismicidad histórica mediante el análisis de los diferentes catálogos existentes, y de la documentación que hace referencia a los efectos de los terremotos destructores (Figura 07).

## MAPA DE PELIGROSIDAD SÍSMICA DE ANDALUCÍA AREAS CON INTENSIDADES $\geq$ VIII (MSK)



**Figura 07.** Áreas afectadas por Intensidades VIII y IX comprobadas documentalmente (Área de Prevención IAGPDS)

La ocurrencia de terremotos históricos en Andalucía ha sido estudiada por numerosos autores. Los resultados de estos estudios se han plasmado en diferentes catálogos de sismicidad histórica. El Proyecto Sismosan (2007) ó Estudio del Riesgo Sísmico en Andalucía hace una revisión de la sismicidad histórica en la que se comprobó que en dicha Comunidad Autónoma se habían documentado 1.686 terremotos con estimación de intensidad. Treinta y uno de estos terremotos, ocurridos antes de 1920, alcanzaron una Intensidad mayor o igual a VII (Figura 08).



**Figura 08.** Distribución de la sismicidad histórica en Andalucía ( $I \geq VII$ ). (SISMOSAN, 2007)

La Tabla siguiente recoge un listado con los terremotos más significativos ocurridos en Málaga Ciudad, destacando en rojo, los de mayor intensidad ocurridos en 1581 y 1680:

FECHA	LAT.	LON.	PROF. (KM)	MAG.	INT.	LOCALIZACIÓN
<b>PERIODO NO INSTRUMENTAL</b>						
18/06/1581	36.7167	-4.4167	0.00		VII	Málaga
09/10/1680	36.8000	-4.6000	0.00		VIII-IX	NW. Málaga
29/08/1722	36.7167	-4.4167	0.00		VI	Málaga
16/07/1767	36.8000	-4.4000	0.00		VI	N. Málaga
12/10/1814	36.7167	-4.4167	0.00		IV	Málaga
01/04/1840	36.7167	-4.4167	0.00		IV	Málaga
13/10/1852	36.7000	-4.4000	0.00		IV	Málaga
30/10/1852	36.7000	-4.4000	0.00		V	Málaga
12/03/1860	36.7500	-4.4167	0.00		V-VI	Málaga
09/11/1880	36.7167	-4.4333	0.00		IV	Málaga
24/07/1886	36.7167	-4.4167	0.00		IV	Málaga
04/04/1889	36.7167	-4.4167	0.00		IV	Málaga
15/05/1889	36.7167	-4.4167	0.00		IV	Málaga
10/12/1890	36.7167	-4.4167	0.00		IV	Málaga
21/03/1891	36.7167	-4.4167	0.00		IV	Málaga
18/12/1898	36.7000	-4.4000	0.00		IV	Málaga
22/01/1909	36.7000	-4.2000	0.00		V	Málaga
27/05/1919	36.7000	-4.4000	0.00		IV	Málaga





PERIODO INSTRUMENTAL						
13/12/1955	36.7283	-4.4100	20.00	3.6		NE. Málaga
02/06/1965	36.7167	-4.4333	0.00		IV	Málaga
05/07/1975	36.7283	-4.4083	19.00	3.6		NE. Málaga
03/05/1977	36.7650	-4.4750	60.00	4.2		NW. Málaga
28/11/1995	36.6967	-4.3783	68.00	3.5		SE. Málaga
22/06/1996	36.7133	-4.4500	68.00	3.9		W. Málaga
04/11/2006	36.7046	-4.3817	71.08	4.2		SE. Málaga
17/09/2008	36.7209	-4.4726	66.35	4.0		W. Málaga

**Tabla 11.** Terremotos más significativos en la ciudad de Málaga. Instituto Geográfico Nacional

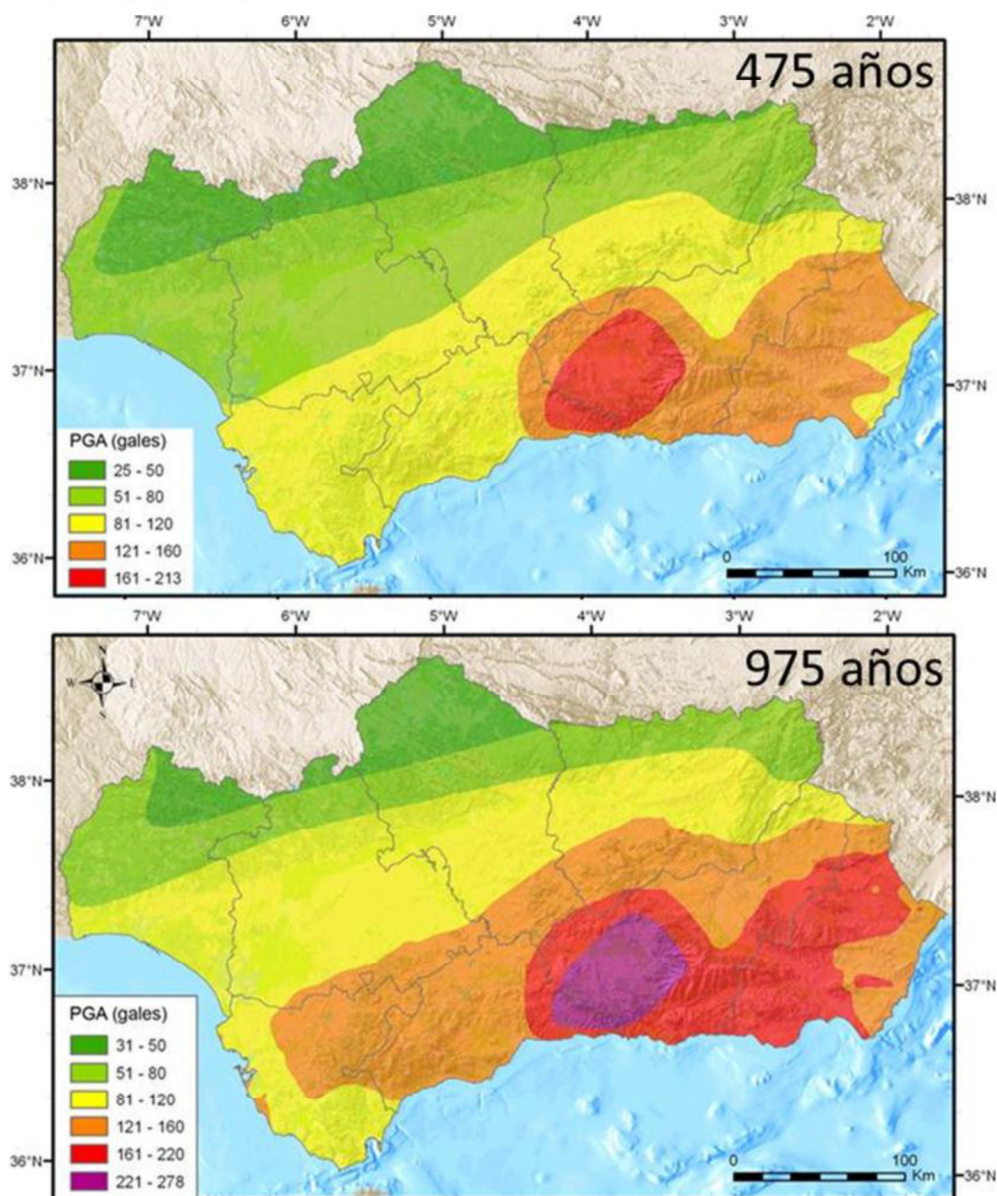
### 4.3. REVISIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA DE MÁLAGA

Además de los datos de peligrosidad sísmica aportados por la **Norma de Construcción Sismorresistente Edificación (NCSE-02)**, existen numerosos trabajos sobre peligrosidad sísmica de los que se puede deducir y obtener el valor de la misma (con diferentes grados de aproximación) para el término municipal de Málaga.

Este trabajo se ha centrado en lo establecido por la normativa de ámbito superior (Plan de Emergencia ante el Riesgo Sísmico en Andalucía), donde para el análisis concreto de la peligrosidad específica en su apartado 7.4 “Análisis del Riesgo en la Planificación Local”, los aspectos necesarios a tener en cuenta (peligrosidad en roca, zonificación del municipio en función del tipo de suelo, y factor de amplificación del terreno).

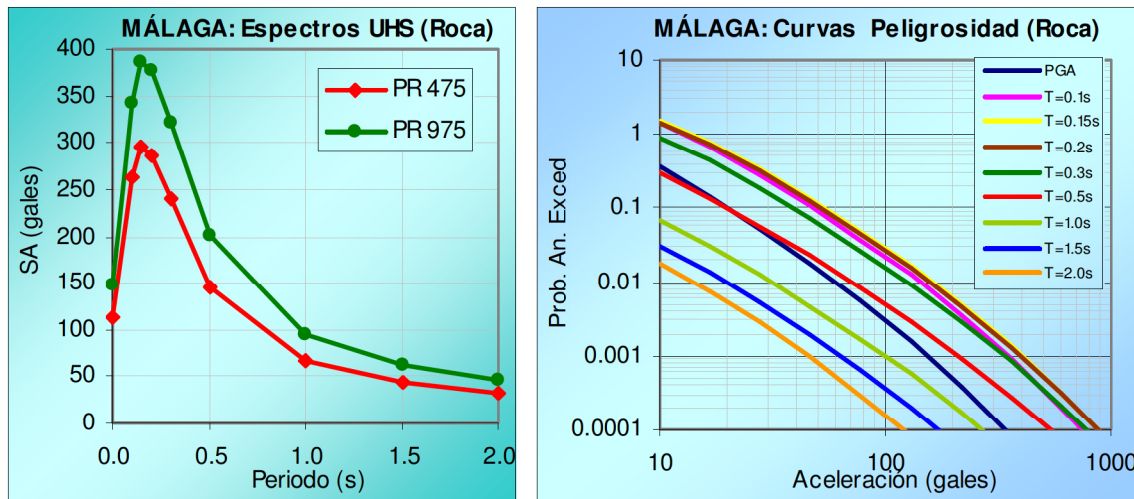
En este sentido, y en cumplimiento a lo establecido en el Plan Sísmico de Andalucía, tomamos como punto de partida en el Plan Sísmico de Málaga el análisis de la peligrosidad del “Proyecto SISMOSAN” del año 2007, que a su vez es la base científica del Plan de Emergencia ante el Riesgo Sísmico en Andalucía. A partir de ahí, para el desarrollo del Plan Sísmico de Málaga nos basamos en información de distintos Organismos Oficiales (IGN, D.G. Catastro, GESTRISAM, INE, D.G. Protección Civil y Emergencias, REDIAM, etc.); Normativas Españolas (NCSE-02); Normativa Europea (EMS-98); Tesis Doctorales (“Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas Gis. Aplicación a la ciudad de Barcelona”, elaborada por M.ª. N. Lantada (2007); “Elaboración de escenarios de daños sísmicos en la ciudad de Granada”, elaborada por M. Feriche (2012); “Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: Aplicación a Cataluña”, elaborada por J. Chávez (1998)); Estudios de investigación (“Riesgos Geológicos y Geotécnicos en el T.M. de Málaga”, promovido por el LIDYCCCE S.L. y elaborado por el Dr. Daniel Clavero y Lourdes Ramos (2005); “Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13”; “A macroseismic method for vulnerability assessment of buildings”, elaborado por Giovinazzi, S. y Lagomarsino, S. (2004); “WPO4. Vulnerability of current buildings. RISK-UE project”, elaborado por Milutinovic, Z. V. y Trendafiloski, G. S. (2003)).

Comenzando con el punto de partida citado, el **Estudio del Riesgo Sísmico de Andalucía (SISMOSAN, 2007)** evalúa la peligrosidad y el riesgo asociado para periodos de retorno de 475 y 975 años, que equivalen a asumir la acción sísmica con probabilidades de excedencia del 10 % para un periodo de exposición de 50 y 100 años respectivamente, coincidiendo con las probabilidades adoptadas por la **Norma de Construcción Sismorresistente Edificación (NCSE-02)** para regular el diseño de estructuras de edificios de importancia normal y especial respectivamente. SISMOSAN (2007) se ha elaborado a partir de la información recopilada para cada entidad poblacional (municipio). El cálculo de la Peligrosidad Sísmica sigue la metodología: **PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Assessment)** y además incorpora distintas opciones de cálculo combinadas mediante un árbol lógico. Utiliza, tanto métodos zonificados como no zonificados, en función de si se descompone el área que potencialmente constituye un peligro sísmico en zonas sismogénicas de geometría bien definida (zonas de sismicidad uniforme) o no (Figura 09).



**Figura 09.** Mapa de PGA en roca esperada para periodos de retorno de 475 y 975 años (método zonificado). Fuente: SISMOSAN (2007)

Los resultados se han dado, bien en términos de “**Aceleración máxima (o pico) del suelo (PGA)**”, o bien en términos de “**Aceleraciones espectrales (SA)**” para diferentes periodos del movimiento. Además de los mapas de peligrosidad sísmica elaborados a partir de los resultados anteriores se presentaron, como resultados singulares, las “*Curvas de peligrosidad*” para diferentes periodos de movimiento y los “*Espectros de peligrosidad*” uniforme para periodos de retorno de 475 y 975 años en las ocho capitales de provincia. La siguiente Figura 10 representa dichos espectros y curvas para Málaga.

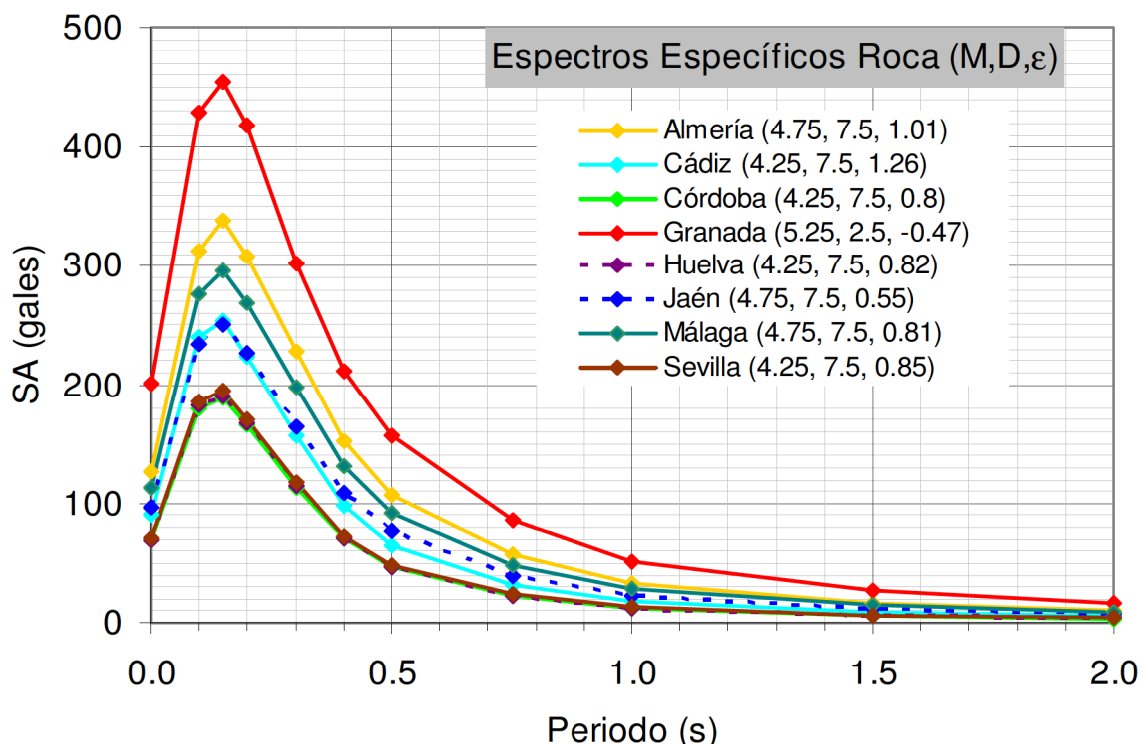


**Figura 10.** Espectros de peligrosidad uniforme (izq.) y curvas de peligrosidad (dcha.) en roca obtenidos para la ciudad de Málaga. Fuente: SISMOSAN (2007)

En el estudio de SISMOSAN (2007) se muestran los parámetros que definen el sismo de control de la peligrosidad para un movimiento objeto determinado, concretamente el rango de magnitudes y distancias fuente-emplazamiento asociadas a dicho terremoto.

El “**sismo de control**” para un valor del movimiento objeto es aquel que representa una mayor contribución a la peligrosidad total en el emplazamiento, para un periodo de retorno dado y los espectros de respuesta específicos para dichos parámetros (Figura 11).

MÁLAGA			MÁLAGA		
Periodo de retorno = 475 años			Periodo de retorno = 975 años		
Movimiento objeto	Magnitud	Distancia (km)	Movimiento objeto	Magnitud	Distancia (km)
PGA = 113 gales	[4.5-5.0]	[5-10]	PGA = 148 gales	[5.0-5.5]	[5-10]
SA(0.2s)= 287 gales	[4.5-5.0]	[5-10]	SA(0.2s)= 376 gales	[4.5-5.0]	[5-10]
SA(0.5s)= 146 gales	[5.0-5.5]	[5-10]	SA(0.5s)= 202 gales	[5.5-6.0]	[5-10]
SA(1.0s)= 68 gales	[6.0-6.5]	[30-35]	SA(1.0s)= 96 gales	[6.0-6.5]	[25-30]



**Figura 11.** Resultados de desagregación de la peligrosidad en Málaga para un PR=475 y 975 años y Espectros específicos correspondientes a los pares MD, para PGA y PR=475 y 975 años. SISMOSAN (2007)

#### 4.4. RESPUESTA LOCAL Y EFECTOS DE SITIO

La potencialidad destructora de un terremoto no depende exclusivamente de la magnitud del mismo, de la atenuación o de la vulnerabilidad de las construcciones, que también, sino que está fuertemente ligada al tipo de terreno y al comportamiento de éste ante la llegada de las ondas sísmicas. El estudio de los terremotos que han afectado a zonas urbanas, ha confirmado que existe una amplificación de las ondas sísmicas en terrenos blandos, sobre todo en casos de gran potencia, en relación a las registradas en roca dura, fenómeno conocido como **“Efecto local ó de sitio”** (Feriche 2012).

La existencia de terrenos considerados geotécnicamente como blandos (de baja consistencia o  $V_s < 400$  m/s) en los últimos 30 metros significa el incremento de los valores máximos del movimiento del suelo en términos de aceleración, velocidad y desplazamiento (PGA, PGV, PGD), la variación de los valores alcanzados por estos parámetros en diferentes rangos de



frecuencias, e incluso, un aumento en la duración de la sacudida sísmica. Así, las variaciones locales de las condiciones del suelo, y por tanto de las características dinámicas del terreno, pueden conducir a diferencias espaciales de la intensidad y pueden tener una influencia notable en el nivel de los daños, incluso para terremotos moderados (Navarro et al., 2000, 2007, 2008; Feriche et al., 2006).

**En este contexto, podemos hablar de que una parte del parque inmobiliario de la ciudad de Málaga (<18%), está edificada sobre materiales considerados como blandos**, tal y como veremos en el siguiente apartado “4.4.1 Caracterización de la respuesta local en Málaga”, que en nuestro caso para Málaga son los **terrenos tipo IV (A)** según el estudio del SISMOSAN (2007), lo que significa que existe cierta susceptibilidad a que se produzcan fenómenos de amplificación de la sacudida sísmica ó efecto local.

La evaluación de la peligrosidad sísmica a escala urbana, requiere estudios de detalle en los que se tenga en cuenta la influencia del efecto diferencial del suelo para obtener la distribución, tanto de los valores del movimiento sísmico del suelo, como de los peligros asociados a las sacudidas sísmicas fuertes como son la licuefacción, los deslizamientos, los asentamientos diferenciales, etc. Es lo que se conoce como “**Microzonificación sísmica**” y el objetivo último es determinar, para cada tipo de suelo, la respuesta en superficie a la excitación sísmica.

En base a los resultados sobre la distribución de intensidades sísmicas (y la de los fenómenos inducidos por las sacudidas) en terremotos futuros, se pueden definir los condicionantes sísmicos necesarios aplicables a la ordenación territorial urbana de la zona para una gestión eficaz del riesgo (Feriche 2012).

Para nuestro caso concreto se ha establecido únicamente lo recogido en el Plan de Emergencia de ámbito superior, en relación a los Planes de Actuación Local (PAL), y por lo tanto, lo recogido en el estudio del SISMOSAN (2007). Siendo conscientes de la importancia de los estudios de detalle sobre la microzonificación sísmica, queda pendiente un estudio de Microzonación para la ciudad de Málaga, el cual se presentará como una futura mejora, modificación y actualización del Plan Sísmico de Málaga.

#### 4.4.1. Caracterización de la respuesta local en Málaga

Como estudio de caracterización de la respuesta local realizados hasta ahora, a nivel regional, metropolitano y municipal, se destaca el Proyecto SISMOSAN (2007) que fue realizado a nivel regional en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

En este proyecto, desarrollado para la elaboración del Plan de Emergencia Sísmico de Andalucía, se realiza un **estudio a nivel regional de la peligrosidad sísmica teniendo en cuenta el efecto local**. Extrayendo de este la información correspondiente al término municipal de Málaga.

Dicho Plan considera, de todos los tipos de terreno existentes en un municipio, el más abundante de los desfavorables en cada una de las áreas municipales andaluzas.

A continuación, podemos observar una tabla comparativa con los tipos de suelo para Andalucía y su descripción geológica y geotécnica, según distintas normas y el proyecto SISMOSAN.

TIPO SUELO			DESCRIPCIÓN		VS <sub>30</sub> m/s
NEHRP	NCSE-02	SISMOSAN	GEOLÓGICA	GEOTÉCNICA	
<b>A</b>	<b>I</b>	<b>I(A)</b>	Rocas ígneas: granitos, gabros, basaltos, andesitas. Rocas metamórficas: cuarcitas, mármoles, gneís. Rocas sedimentarias: dolomías y calizas. (Proterozoico, Paleozoico, Mesozoico)	Rocas de dureza alta y muy alta, poco fracturadas.	>1500
<b>B</b>	<b>I</b>	<b>I(B)</b>	Rocas sedimentarias: calizas, dolomías y grauwacas. Rocas metamórficas: esquistos, micaesquistos y pizarras. (Paleozoico y Mesozoico)	Rocas de dureza media y fracturadas	750-1500
<b>C</b>	<b>II</b>	<b>II</b>	Rocas metamórficas: filitas y metapelitas (Paleozoico). Rocas sedimentarias: areniscas, arcillas, facies turbidíticas, grauwacas, calizas oolíticas, calizas margosas, margas, etc. Rocas fundamentalmente triásicas del Keuper: arcillas versicolores y yesos con intercalaciones de areniscas rojas y calizas. (Mesozoico y Cenozoico)	Rocas de dureza media y muy fracturadas, en ocasiones con abundantes intercalaciones de rocas de dureza baja. Rocas blandas con arcillas expansivas.	400-750
<b>D</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	Sedimentos cuaternarios de origen fluvial, coluvial y pie de monte: arenas, limos, conglomerados y costras conglomeráticas. (Terciario y Cuaternario)	Suelos no cohesivos y poco o puntualmente cementados.	200-400
<b>E</b>	<b>IV</b>	<b>IV (A)</b>	Sedimentos cuaternarios de origen fluvial, coluvial y eólicos: gravas, arenas, limos y arcillas. (Cuaternario)	Suelos no cohesivos, sueltos y cohesivos blandos.	150-200
<b>F</b>	<b>IV</b>	<b>IV (B)</b>	Depósitos de playa, marismas y cauces de río: fangos, dunas, arcillas plásticas y limos orgánicos	Suelos muy blandos, en ocasiones potencialmente licuefactables.	<150

**Tabla 12.** Clasificación Sismo-Geotécnica de Terrenos propuesta para la Comunidad Andaluza (comparada con la de la NCSE-02, la NEHRP y SISMOSAN, 2007). De Feriche (2012) y adaptada por P. Civil.

## Servicio de Protección Civil

La superficie del T.M. se divide en una serie de zonas, relativamente homogéneas en cuanto a sus características sismo-geotécnicas, tal y como se recoge en el estudio del SISMOSAN (2007).

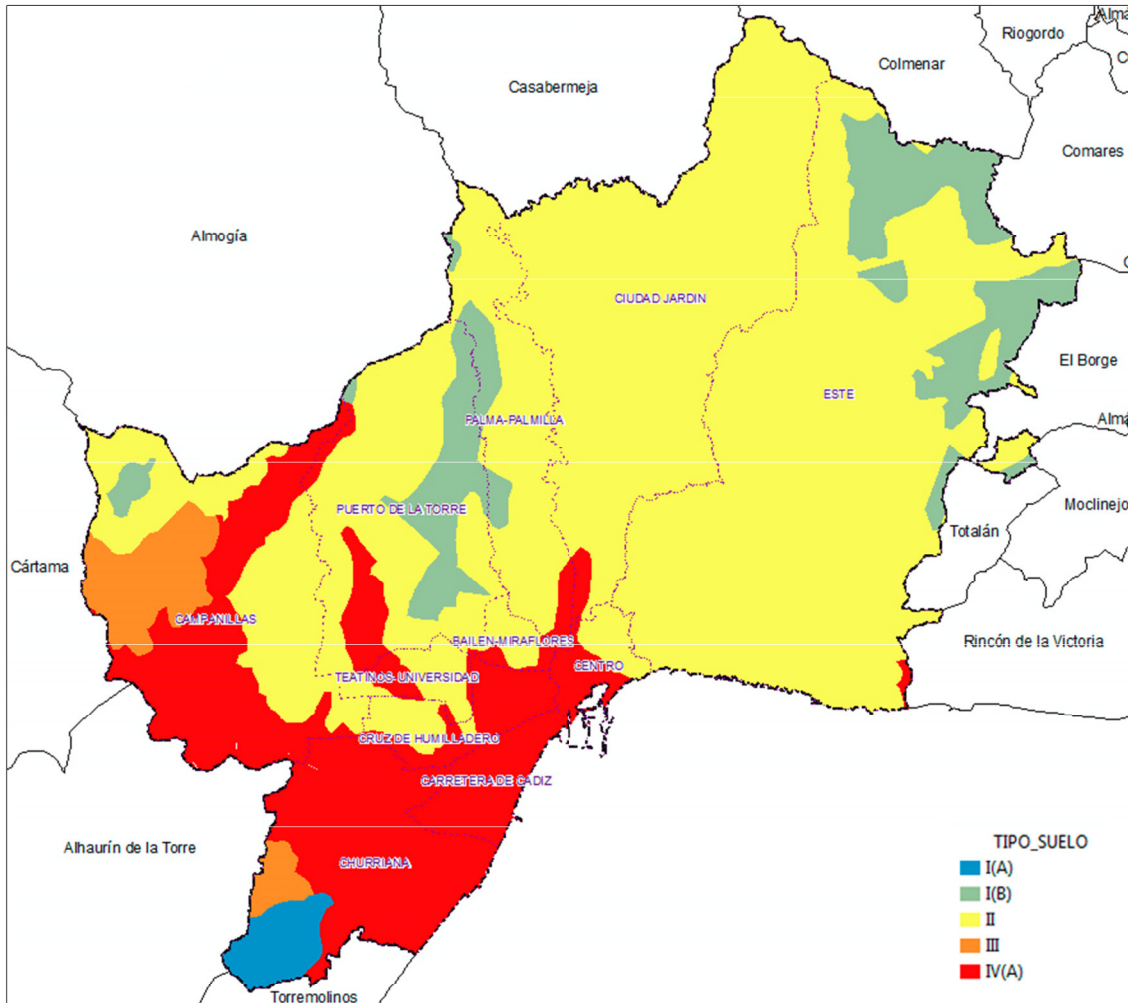
Teniendo en cuenta la tabla anterior, y según el Proyecto SISMOSAN, encontramos para el término municipal de Málaga la siguiente representación y extensiones de los distintos tipos de suelos:

Tipo Suelo	Coefficiente Amplif. (C)	Zonas	Sup. (ha)	(%)
I (A)	0.87	Es el de menor extensión y se encuentra en una pequeña zona al Oeste.	560,47	1,44
I (B)	1.0	En las zonas de palma-Palmilla, Puerto de la Torre y Este.	3.664,05	9,43
II	1.2	Es el de mayor extensión, ocupando toda la zona Este, Ciudad Jardín, parte de Palma-Palmilla y Puerto de la Torre y Campanillas	26.365,56	67,86
III	1.4	Representado por dos zonas al Oeste, en Campanillas y Churriana.	1.286,61	3,31
IV (A)	1.8	Representa toda la zona del Guadalhorce, y parte de la zona Centro, Teatinos, Cruz de humilladero y Carretera de Cádiz	6.974,56	17,95
IV (B)	-	No considera SISMOSAN este tipo de suelo en Málaga	0	0

**Tabla 13.** Clasificación Sismo-Geotécnica de Terrenos propuesta para el T.M. de Málaga

Por lo que podemos concluir que, en el Término municipal de Málaga abundan los terrenos de **Tipo II** con un **67,86 %** de ocupación del suelo, seguido de los terrenos de **Tipo IV (A)** ocupando una extensión del **17,95 %** del suelo total, **Tipo I (B)** del **9,43 %**, del **Tipo III** del **3,31 %**, y por último del **Tipo I (A)** del **1,44 %**.

A continuación, se muestra una imagen con la distribución de los tipos de terrenos existentes en el término municipal de Málaga, reflejando la distribución por Distritos:



**Figura 12.** Clasificación Sismo-Geotécnica de terrenos en el T.M. Málaga. Adaptado de (SISMOSAN, 2007).

#### 4.4.2. Parámetros de estimación de Peligrosidad sísmica en Málaga.

El Proyecto SISMOSAN (2007), emplea la “**Intensidad macrosísmica**”, como parámetro intermedio entre el movimiento y el daño, y la calcula a partir de los parámetros de movimientos fuertes deducidos del estudio de peligrosidad, aplicando las correlaciones definidas en el estudio, y como paso previo al cálculo de la probabilidad de daño. Estas son estimadas para cada término municipal, partiendo de los valores de PGA y EPA calculados para periodos de retorno de 475 y 975 años.

Los valores de EPA han sido a su vez deducidos a partir de las aceleraciones espectrales (SA) entre 0.1 y 0.5 s, normalizando el promedio por un factor de 2.5.



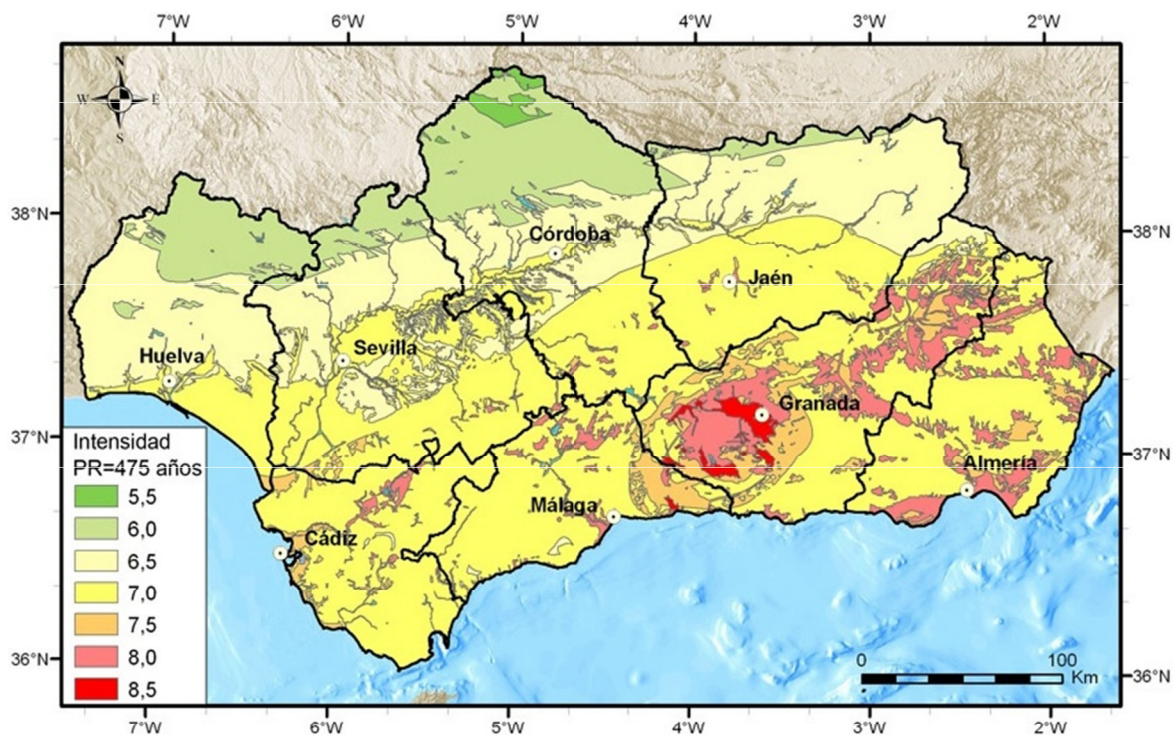


Figura 13. Peligrosidad sísmica en Andalucía en INTENSIDAD para periodo de retorno de 475 años teniendo en cuenta el suelo (SISMOSAN, 2007)

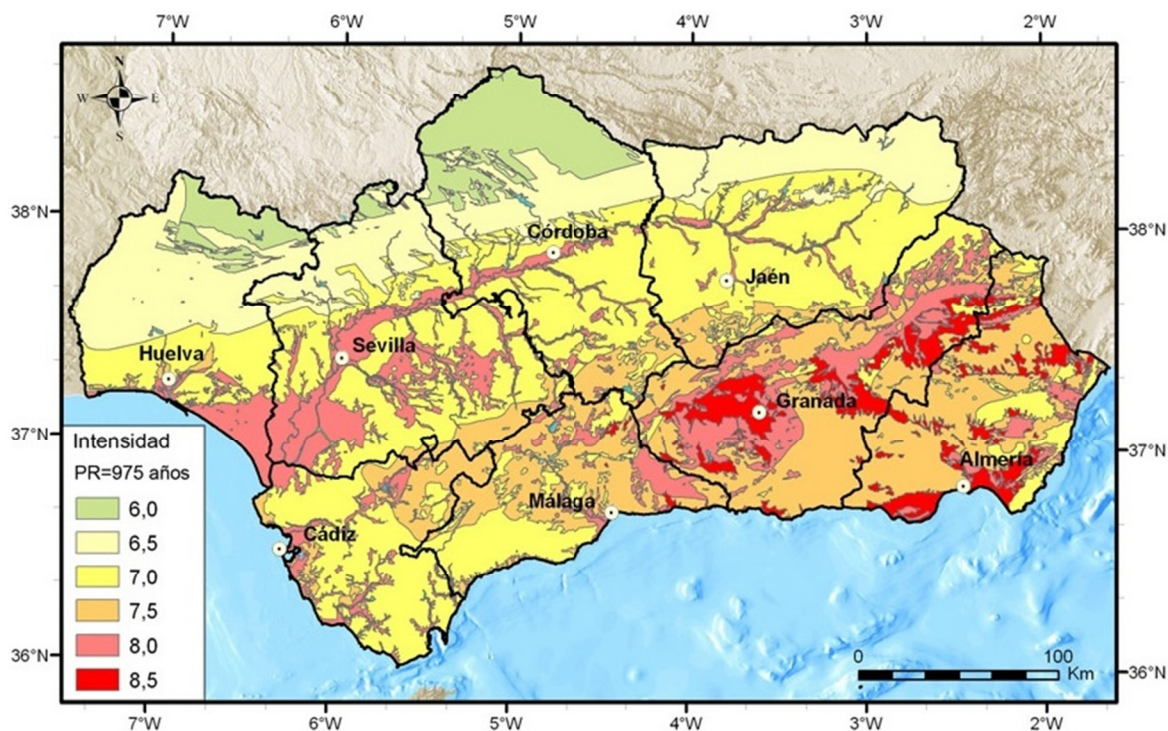
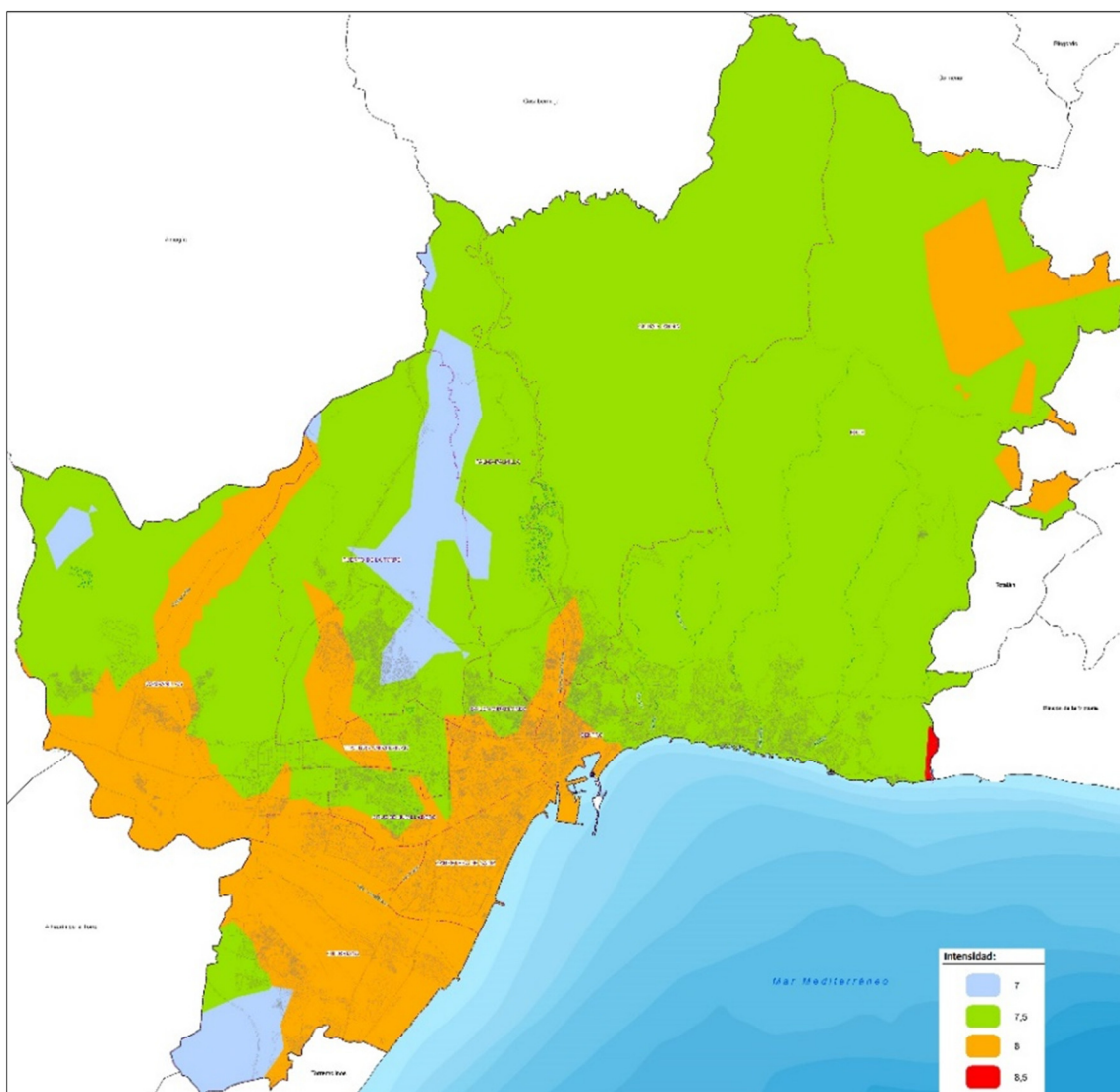


Figura 14. Peligrosidad sísmica en Andalucía en INTENSIDAD para un periodo de retorno de 975 años teniendo en cuenta el suelo (SISMOSAN, 2007)

Para un **periodo de retorno de 475 años**, cabe señalar que los municipios donde se espera un valor de intensidad de VIII se concentran principalmente en el Sureste de la comunidad autónoma. Granada y Málaga son las únicas provincias donde son esperables valores de intensidad mayores de VIII. Para el **periodo de retorno 975 años**, se observa una distribución similar a la anterior pero los mayores valores de intensidad se esperan además de en las provincias de Granada y Málaga, para la provincia de Almería. Señalar que en ambos casos la intensidad esperada según el cálculo realizado no supera el valor de IX.

Aunque las edificaciones se analizan en el estudio de Vulnerabilidad como es lógico, en el siguiente gráfico y **centrándonos en el periodo de retorno de 975 años**, para el término municipal de Málaga, vamos a representar las zonas construidas sobre el plano de Peligrosidad con la definición de los distintos grados de intensidad.

Del análisis del SISMOSAN sobre la peligrosidad e intensidades, extraemos a continuación de la Figura 15, nuestro mapa de distribución de Intensidades para el término municipal de Málaga:



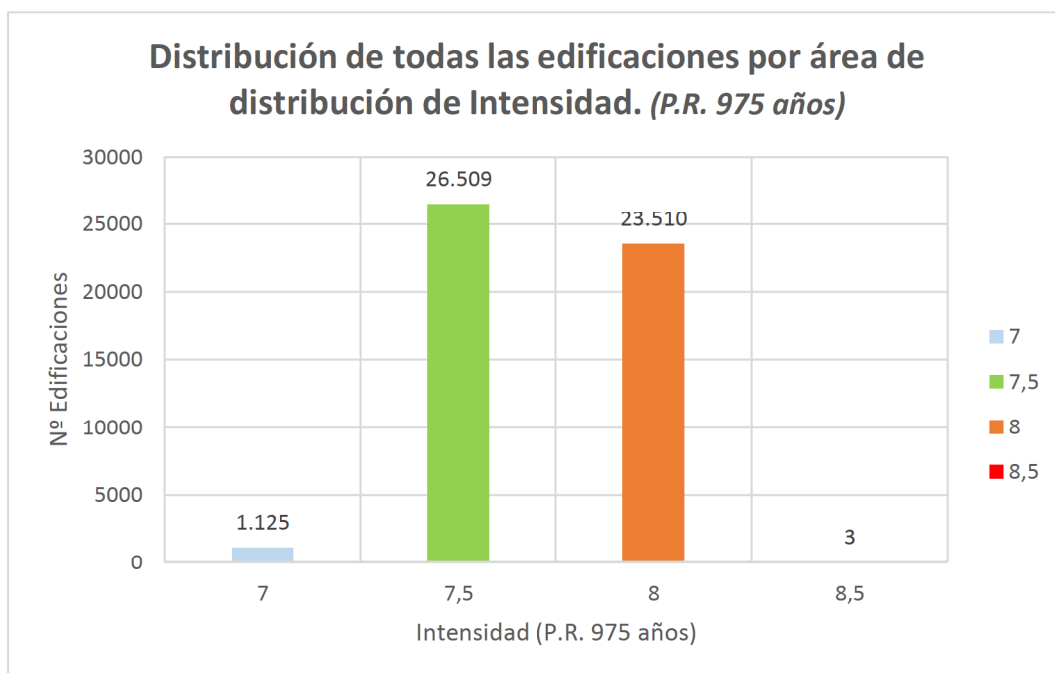
**Figura 15.** Distribución de intensidades para Málaga (P.R. 975 años). Adaptado de (SISMOSAN, 2007)

Según la D.G. del Catastro, el término municipal de Málaga cuenta con **51.147 Edificaciones**, de las cuales, **40.935 están clasificadas como Residenciales** (uso dominante de la edificación) que, a su vez, estas edificaciones de uso residencial contienen **246.982 Viviendas**.

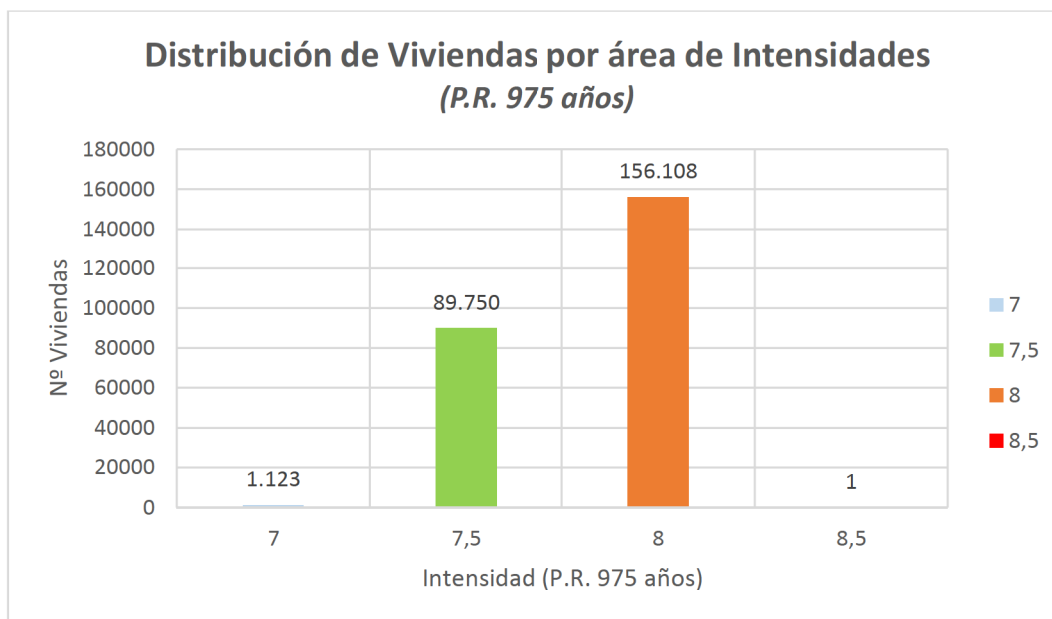
Asimismo, en un primer acercamiento a esta distribución de intensidades, podemos obtener a través de nuestro SIG y, mediante una “*Selección por atributos*” en la capa base de edificaciones, tanto el número de edificaciones, como de Viviendas existentes para cada área de distribución de Intensidad, tal y como se recoge en la siguiente tabla.

INTENSIDAD	EDIFICACIONES	%	VIVIENDAS	%
7	1.125	2,20	1.123	0,45
7,5	26.509	51,83	89.750	36,34
8	23.510	45,97	156.108	63,21
8,5	3	0,01	1	0,00
<b>Total:</b>	<b>51.147</b>	<b>100</b>	<b>246.982</b>	<b>100</b>

**Tabla 14.** Distribución de Edificaciones y Viviendas por área de distribución de Intensidad (P.R. 975) para el Término Municipal de Málaga



**Gráfico 03.** Distribución de las Edificaciones de Málaga por grado de intensidad.



**Gráfico 04.** Distribución de las Viviendas de Málaga por área de distribución de intensidad.

De esta forma podemos observar que el mayor número de edificaciones del T.M. de Málaga se encuentra sobre zonas de intensidad 7,5 (26.509 edificaciones en concreto, en las que se concentran 89.750 viviendas), seguido de las edificaciones que se encuentran en zonas con grado de intensidad 8 (23.510 edificaciones, en las que se concentran 156.108 viviendas), este dato solo es a título informativo, ya que como se ha mencionado antes, el análisis de las edificaciones corresponde hacerlo en el apartado de Vulnerabilidad.

#### 4.5. ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN MÁLAGA

La peligrosidad asociada al término municipal de Málaga viene determinada por el Estudio de Riesgo Sísmico de Andalucía, que se basa en el proyecto SISMOSAN (2007).

Por lo tanto, a modo de resumen, podemos decir que el Proyecto SISMOSAN (2007) evalúa la peligrosidad sísmica teniendo en cuenta el efecto del suelo, para ello se parte de los mapas de peligrosidad sísmica obtenidos sin considerar el efecto del suelo, y junto con el mapa de clasificación geológica resultante del análisis geotécnico, se combinan ambos aplicando los factores de amplificación para así incorporar el efecto suelo, y de esta forma refleja el movimiento esperado para periodos de retorno de 475 y 975 años en el T.M. de Málaga, representado en modo de aceleración pico (PGA).

En nuestro estudio finalmente utilizaremos como base para calcular la peligrosidad sísmica en el T.M. de Málaga **el movimiento esperado para el periodo de retorno de 975 años por ser el más exigente, considerando el efecto del suelo, y expresado en términos de Aceleración Pico (PGA) y medido en gales (gal)**, correspondiente al proyecto SISMOSAN y que se muestra en la Figura 17, aunque a modo informativo se va a mostrar también el P.R. de 475 años en la Figura 16.

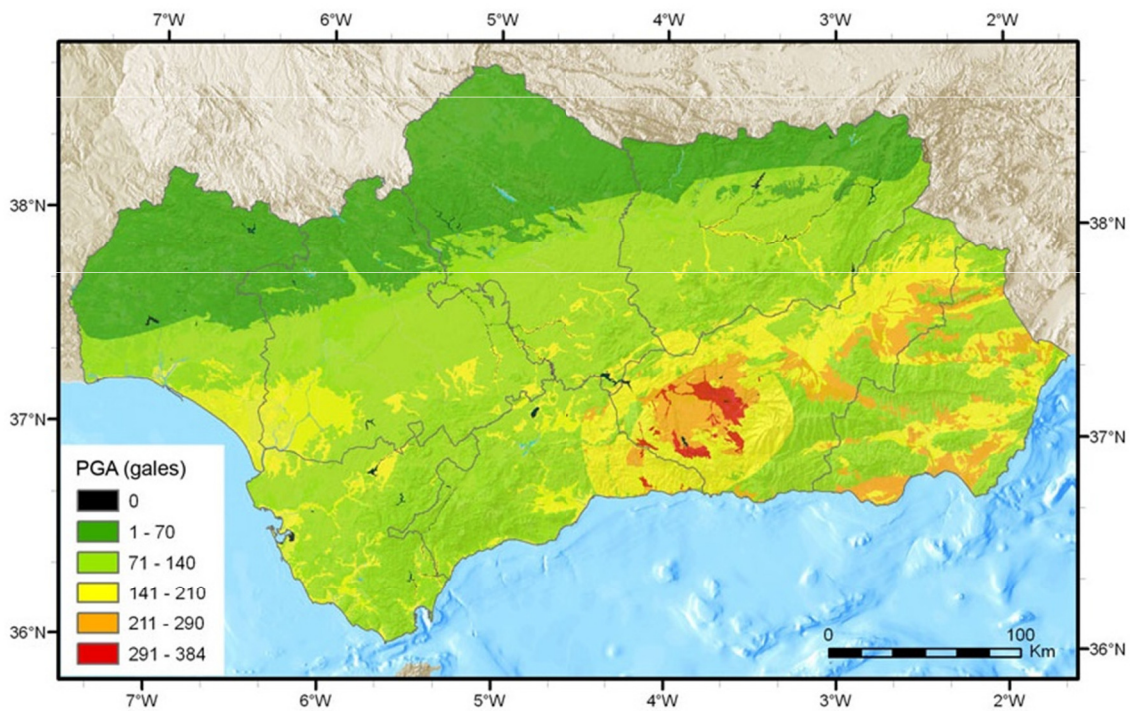


Figura 16. Movimiento esperado para periodo de retorno de 475 años, considerando el efecto del suelo, expresado en términos de Aceleración Pico (PGA) (gal). (SISMOSAN, 2007)

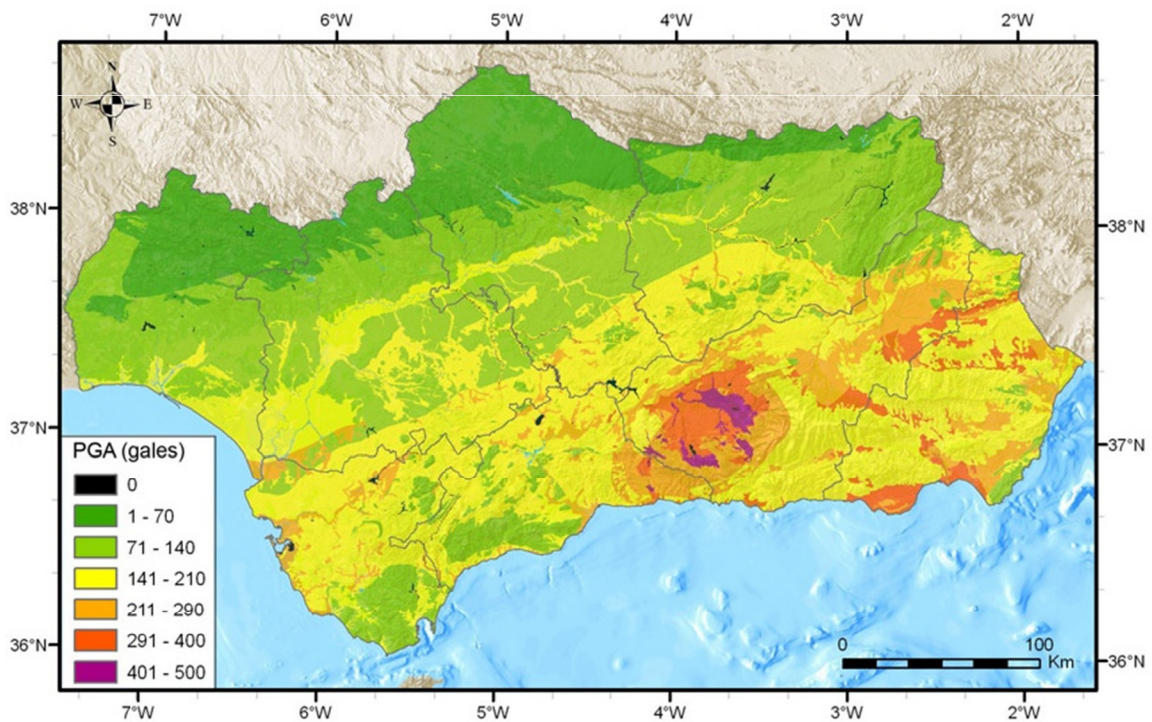


Figura 17. Movimiento esperado para periodo de retorno de 975 años, considerando el efecto del suelo, expresado en términos de Aceleración Pico (PGA) (gal). (SISMOSAN, 2007)



Por todo lo anterior, y en relación al cálculo de la peligrosidad desde el punto de vista de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cálculo de la peligrosidad para el T.M. de Málaga lo determina la capa de información geográfica (en formato vectorial) aportada por la Junta de Andalucía con los valores cuantitativos de PGA para un periodo de retorno de 975 años.

Se ha optado en el Plan Sísmico de Málaga por considerar el periodo de retorno de 975 años, y no el de 475 años, para así tener en cuenta la situación más desfavorable en la que nos podríamos encontrar.

Primeramente, ha sido necesario tratar la información aportada por la Junta de Andalucía (Intensidad, PGA 975, Geotécnico, etc.) mediante:

- Recorte de cada capa de información para obtener únicamente los valores que afectan al T.M. de Málaga, ya que la información aportada era para zonas de ámbito superior.
- Transformación de los sistemas de referencia, georeferenciadas para sistemas GIS, puesto que la información recibida fue aportada en la obsoleta SRC "ED50", teniendo que transformarlas en la actual y vigente SRC "ETRS89" o "EPSG: 25830".

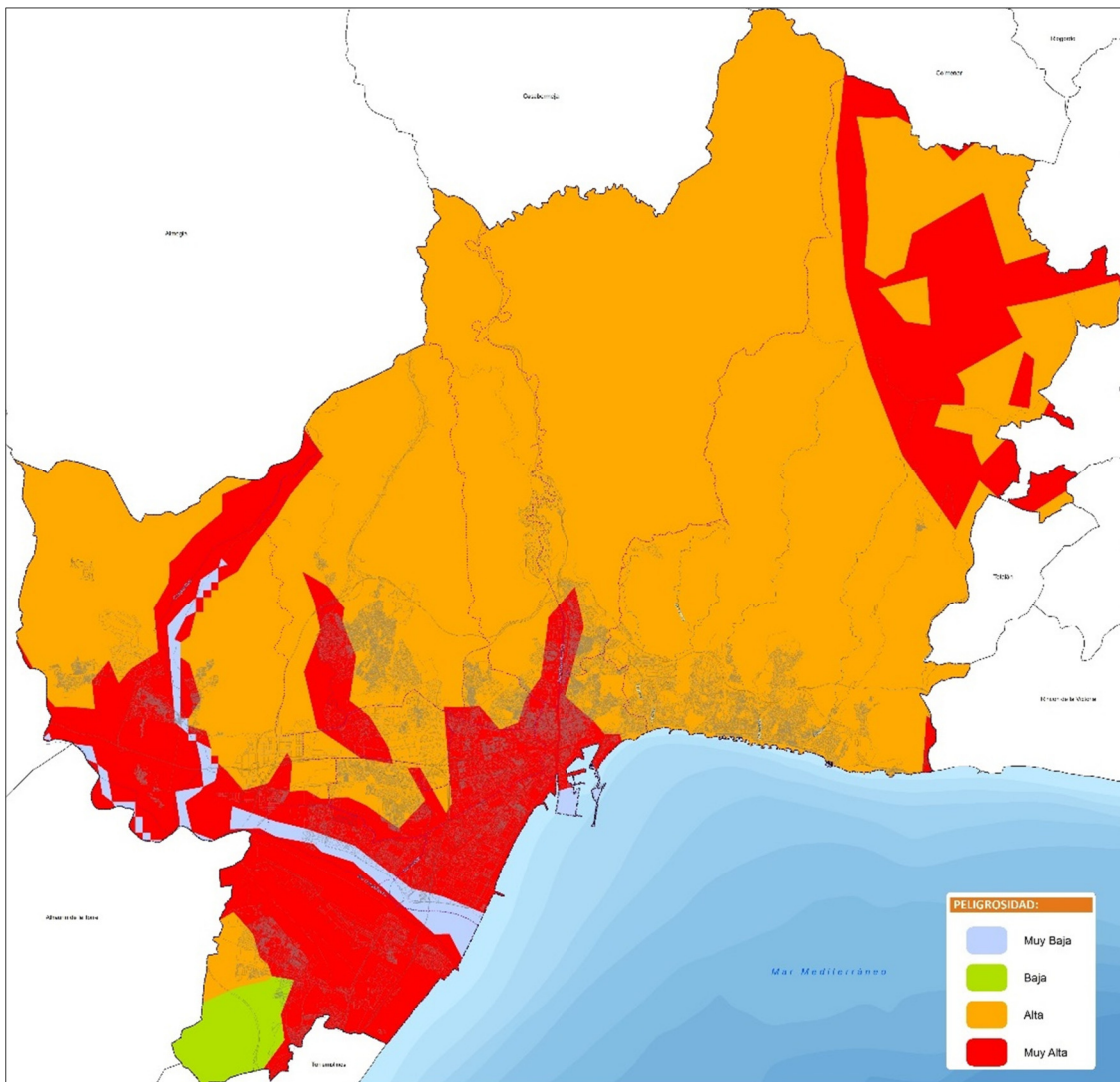
Por último, para obtener nuestro mapa final de Peligrosidad Sísmica del término municipal de Málaga se procede de la siguiente forma:

- Reclassificar los valores cuantitativos de PGA para el periodo de retorno de 975 años, en valores cualitativos de peligrosidad, y así representar el mapa final de peligrosidad para el T.M. de Málaga, tal y como se muestra a continuación:

Valor PGA (gal) (P.R. 975 años)	Valor cuantitativo Peligrosidad	Valor cualitativo Peligrosidad
<71	1	Muy baja
71 - 140	2	Baja
141 - 210	3	Alta
211 - 290	4	Muy Alta

**Tabla 15.** Valores para el cálculo de la peligrosidad en el T.M. de Málaga

**MAPA FINAL DE PELIGROSIDAD SÍSMICA DEL T. M. DE MÁLAGA**



**Figura 18.** Mapa final de Peligrosidad Sísmica para el T.M. de Málaga. Adaptado P.R. 975 años (SISMOSAN, 2007)

En el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA** se muestra con detalle todos los mapas relacionados con la Peligrosidad Sísmica de Málaga.