

6. ANÁLISIS DEL RIESGO

Según la definición de **United Nations Disaster Relief Organization, UNDRO (1979)**, el Riesgo Sísmico, para una determinada población se define como la convolución de varios elementos:

$$R = P * V * E * C$$

Siendo:

P: Peligrosidad o amenaza sísmica que determina el movimiento esperado en la población.

V: Vulnerabilidad sísmica de las estructuras.

E: Exposición o densidad de estructuras y habitantes.

C: Coste de reparación o de pérdidas.

El daño probable de los elementos en riesgo, es función de la peligrosidad sísmica esperada, de la vulnerabilidad del elemento en riesgo y del intervalo de exposición. Por tanto, no se debe confundir con la peligrosidad sísmica mostrada en las Figuras 05 y 06 del apartado sobre Peligrosidad.

En este contexto, la **United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO)** y la **Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)** promovieron una definición a partir de los siguientes conceptos (Sandi 1983):



Gráfico 9. Esquema gráfico de los componentes del Riesgo

- **Amenaza, Peligro o Peligrosidad (P):** Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado.
- **Vulnerabilidad (V):** Es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).
- **Riesgo específico (Rs):** Es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular. Es función de la amenaza y la vulnerabilidad.



- **Elementos en riesgo (E):** Son la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta a una amenaza en un área determinada. También se denomina exposición.
- **Riesgo total (Rt):** Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre es decir el producto del riesgo específico, (Rs), y los elementos en riesgo, (E).

Con estas definiciones, la evaluación del riesgo total puede llevarse a cabo mediante la siguiente expresión general:

$$R_t = E \times R_s = E \times P \times V$$

El concepto de riesgo sísmico está siempre relacionado con la predicción de pérdidas futuras y está íntimamente ligado a la psicología personal o colectiva, razón por la que, obviamente, es difícil darle objetividad. Por este motivo es tan compleja la evaluación del riesgo, aun cuando se trate solamente de su dimensión física.

Un **análisis de vulnerabilidad** es un estudio de la capacidad de un sistema a resistir o absorber el impacto de un suceso que caracteriza un peligro o amenaza, y por lo tanto, se diferencia del **análisis de riesgo**, que es la estimación de pérdidas de acuerdo con el grado de amenaza considerado y con el nivel de vulnerabilidad existente en el sistema expuesto (Barbat y Pujades, 2004).

Al igual que el peligro o amenaza, el riesgo puede plasmarse en mapas, que pueden ser probabilistas o deterministas. En este último caso, los mapas de riesgo representan un escenario máximo para cada punto, es decir, la distribución espacial de los efectos potenciales que pueden causar los movimientos sísmicos máximos esperados en cada punto de un área geográfica, de acuerdo con el grado de vulnerabilidad de los elementos que componen el sistema expuesto.

La evaluación de pérdidas futuras requiere técnicas probabilistas, con lo que los riesgos se expresan en pérdidas medias económicas o de vidas humanas por año.

A escala urbana, por ejemplo, la vulnerabilidad como factor interno de riesgo debe relacionarse no solamente con la exposición del contexto material o su susceptibilidad física de ser afectado, sino también con las fragilidades sociales y la falta de **resiliencia** (o capacidad de mitigar en parte el desastre) por parte de la comunidad. La falta de organización institucional y comunitaria, las debilidades en los preparativos para la atención de emergencias, la inestabilidad política y la falta de salud económica de un área geográfica contribuyen a tener un mayor riesgo. Por lo tanto, las consecuencias potenciales no sólo están relacionadas con el impacto del suceso, sino también con la capacidad para soportar el impacto y las implicaciones del impacto en el área geográfica dañada que afecten a la respuesta y recuperación de la misma.

6.1. RIESGO SÍSMICO EN LA CIUDAD DE MÁLAGA

Una vez conocida la **peligrosidad** (calculada a partir de la intensidad fijada para un periodo de retorno de 975 años en el Proyecto SISMOSAN), y la **vulnerabilidad** de cada una de las edificaciones (calculada mediante el Índice de Vulnerabilidad Total), procedemos a aplicar la fórmula directa para realizar el cálculo del RIESGO, que aplicamos a todas y cada una de las edificaciones del término municipal de Málaga.

Posteriormente, en otro apartado se procederá al análisis de los daños producidos bajo esta hipótesis.

$$\text{RIESGO} = \text{Peligrosidad} \times \text{Vulnerabilidad}$$

Aplicaremos esta fórmula para cada una de las edificaciones existentes en el término municipal de Málaga, catalogando el Riesgo conforme a la siguiente Tabla 36 elaborada en el Servicio de Protección Civil de Málaga, la cual nos permite obtener un valor cuantitativo del riesgo de cada una de ellas, y que se obtiene de la siguiente matriz de doble entrada:

RIESGO		PELIGROSIDAD				
		Muy Baja (1)	Baja (2)	Alta (3)	Muy Alta (4)	
VULNERABILIDAD	Muy Baja (1)	1	2	3	4	
	Baja (2)	2	4	6	8	
	Moderada (3)	3	6	9	12	
	Alta (4)	4	8	12	16	
	Muy Alta (5)	5	10	15	20	
RIESGO = Peligrosidad x Vulnerabilidad						
		Muy Bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto

Tabla 36. Matriz de doble entrada de valores de Peligrosidad y Vulnerabilidad para obtención de los valores del Riesgo en Málaga, elaborada en el Servicio de Protección Civil del Ayuntamiento de Málaga.

La fórmula anterior del Riesgo se representa a continuación de una manera gráfica en la siguiente imagen:

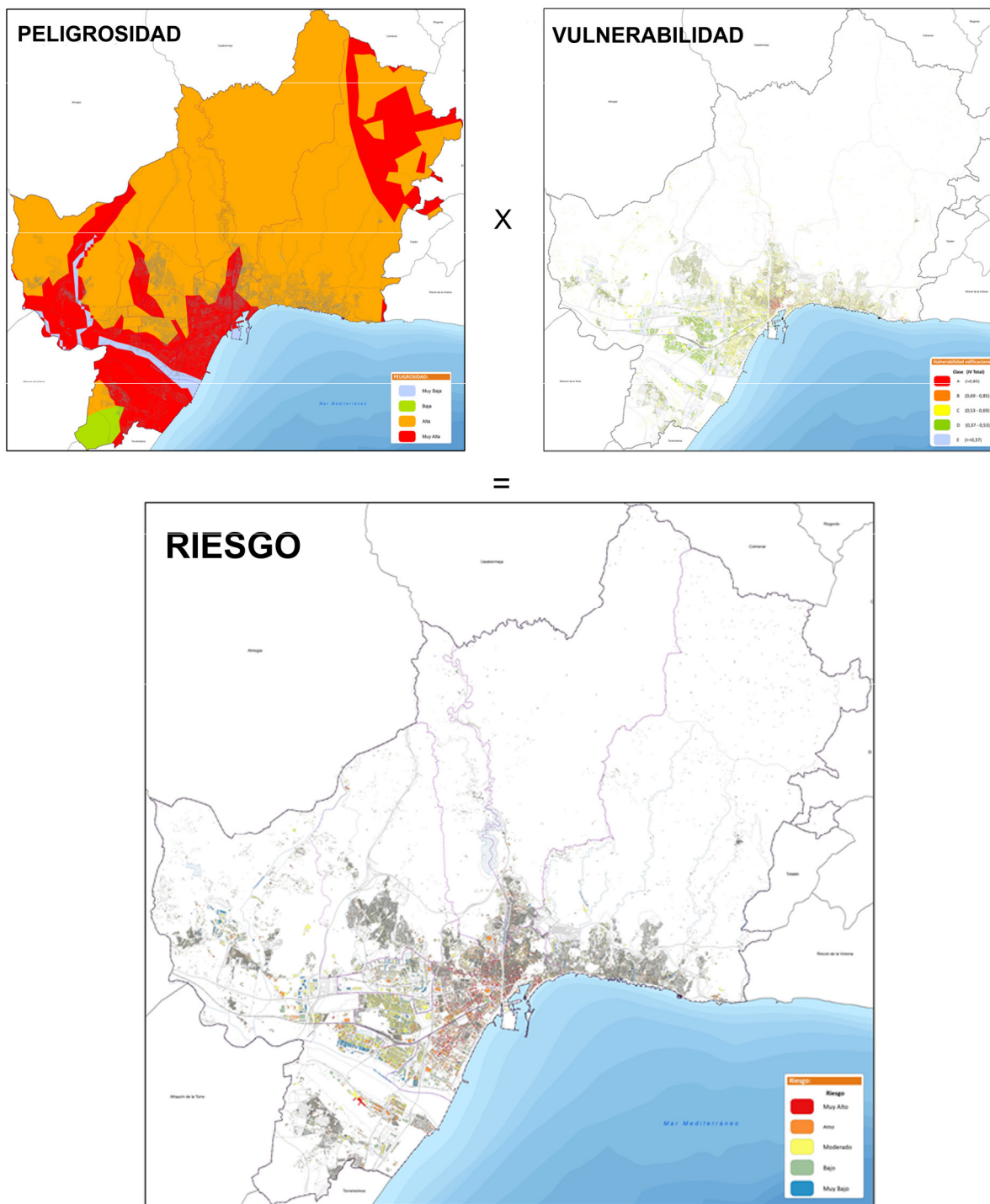


Figura 46. Representación gráfica de la fórmula del Riesgo ($Riesgo = Peligrosidad \times Vulnerabilidad$)

Según la metodología SIG aplicada en este Plan, para la aplicación de la anterior fórmula del riesgo es necesario determinar en nuestra capa base de edificaciones lo siguiente:

- **Peligrosidad:** Se consigue cruzando la información del mapa de peligrosidad obtenido anteriormente, con la capa base de edificaciones del Catastro, consiguiendo determinarse así un valor de peligrosidad para cada edificación. El cruce se hace en un nuevo campo denominado “Peligrosidad”.
- **Vulnerabilidad:** Este campo ya lo tenemos disponible en nuestra capa base mediante el campo “IV_TOTAL” calculado en el apartado correspondiente a la vulnerabilidad y según el Índice de Vulnerabilidad (IV).
- **Riesgo:** Se crea un nuevo campo denominado “Riesgo” en el que aplicaremos nuevamente la “calculadora de campos” para incluir la fórmula anterior y así obtener el valor de riesgo pormenorizado para cada edificación del término municipal de Málaga. Finalmente, los valores obtenidos se reclasifican según la matriz de doble entrada, y se representan cartográficamente según estos.

A continuación, podemos observar un fragmento de la distribución del riesgo sísmico en la zona Centro de la ciudad de Málaga:

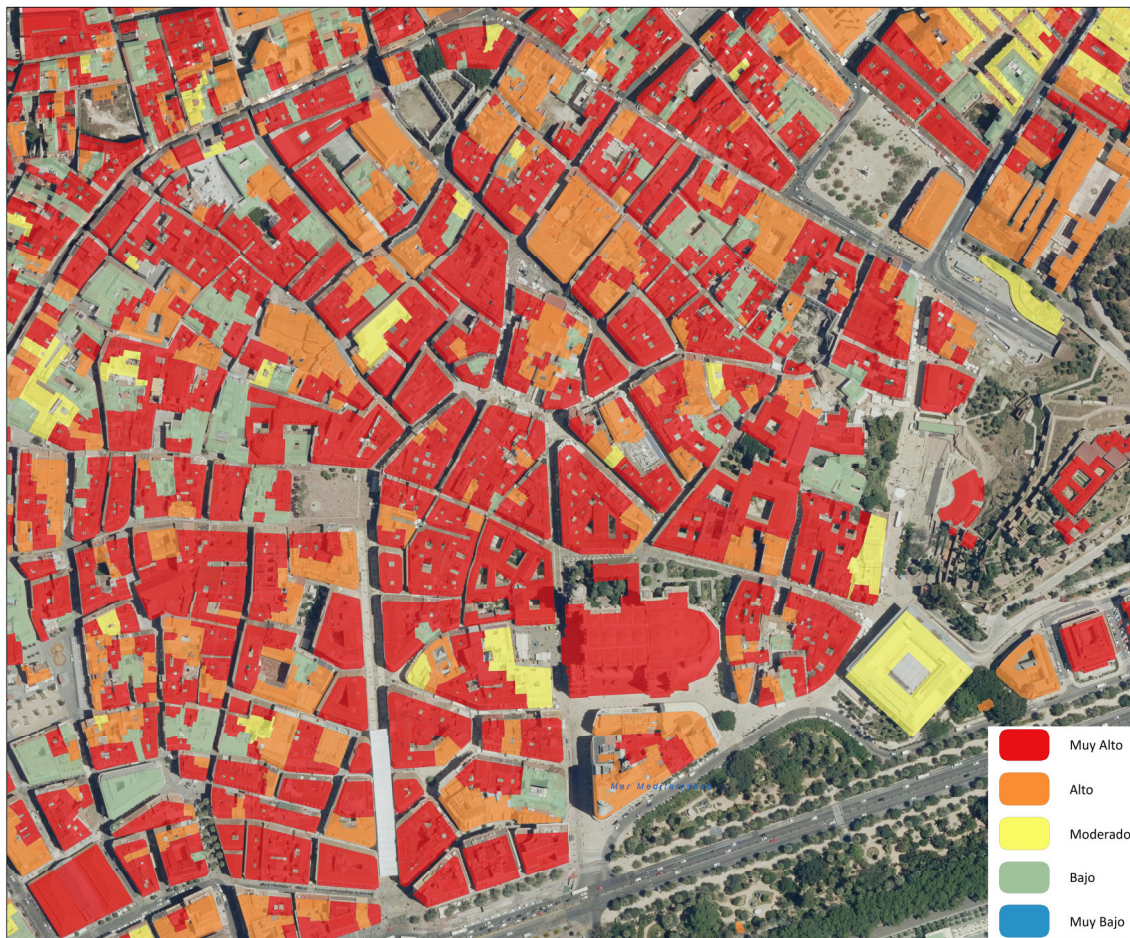


Figura 47. Detalle del mapa de Riesgos para la zona Centro del T.M. de Málaga.



Figura 48. Distribución del riesgo sísmico en la zona Este del T.M. de Málaga.

Como primeros resultados, obtenemos una distribución del riesgo de cada una de las edificaciones en el término municipal de Málaga, en el que se puede observar el predominio del **riesgo moderado (56,77 %)**, seguido del **riesgo alto (28,84 %)**, tal y como se muestra en el siguiente gráfico:

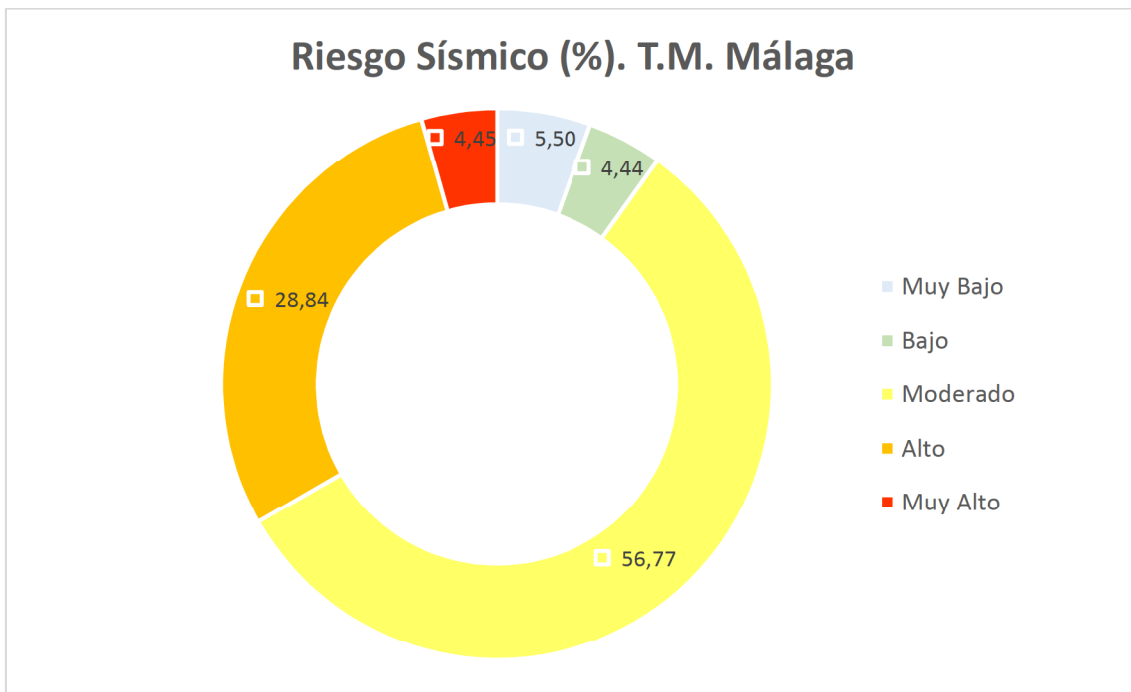


Gráfico 10. Distribución del Riesgo Sísmico de las edificaciones en el T.M. de Málaga

Las zonas de mayor intensidad se encuentra en el Guadalhorce, caracterizado por zonas industriales, centros comerciales y el aeropuerto de la ciudad. En cuanto al casco histórico de la ciudad se caracteriza por la existencia de edificaciones más antiguas que por lo general genera mayor vulnerabilidad.

Esto es muy relevante desde el punto de vista de la estimación de los daños sísmicos, puesto que muestra la distribución de la intensidad, de la que dependen los daños, junto con la vulnerabilidad de las edificaciones. Por ello, para disminuir el daño hay que trabajar en reducir la vulnerabilidad de las edificaciones, aunque sería importante realizar una buena ordenación del territorio y evitar las construcciones en zonas en las que se esperan amplificaciones importantes de las sacudidas sísmicas, ó bien diseñar las estructuras teniendo en cuenta la intensidad en este tipo de terreno, y así conseguir la reducción del daño (Feriche 2012).

En los planos finales de riesgos se grafía con todo detalle cada finca registral del término municipal de Málaga, pormenorizado por edificación con el color del riesgo correspondiente a cada inmueble. Se encuentran disponibles en el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA**.

6.2. RIESGOS ASOCIADOS

En la siguiente tabla se muestra una interrelación de riesgos, por lo que se puede observar de una forma rápida y eficaz los riesgos asociados a cada tipo de emergencia que se pueda presentar. Para este Plan concreto, únicamente tratamos los movimientos sísmicos:

INTERCONEXION DE RIESGOS

	SEQUIAS	GRANDES TORMENTAS	FUERTES VIENTOS	INUNDACIONES	MOVIMIENTOS DEL TERRENO	MOVIMIENTOS SISMICOS	INCENDIOS FORESTALES	ACCIDENTES GRAVES SUST. PELIGROSAS	TRASPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS	CONTAMINACION DEL LITORAL	GRANDES CONCENTRACIONES HUMANAS	ACCIDENTES DE TRAFICO	INTERRUPCION DE SUMINISTROS BASICOS	ATENTADOS	EPIDEMIAS
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 SEQUIAS															
2 GRANDES TORMENTAS															
3 FUERTES VIENTOS															
4 INUNDACIONES															
5 MOVIMIENTOS DEL TERRENO															
6 MOVIMIENTOS SISMICOS															
7 INCENDIOS FORESTALES															
8 ACCIDENTES GRAVES SUST. PELIGROSAS															
9 TRASPORTE DE MERCANCIAS PELIGROSAS															
10 CONTAMINACION DEL LITORAL															
11 GRANDES CONCENTRACIONES HUMANAS															
12 ACCIDENTES DE TRAFICO															
13 INTERRUPCION DE SUMINISTROS BASICOS															
14 ATENTADOS															
15 EPIDEMIAS															

Tabla 37. Interconexión entre los tipos de riesgos en el T.M. de Málaga. Servicio Protección Civil de Málaga.

MAPA FINAL DEL RIESGO SÍSMICO EN EL T.M. DE MÁLAGA

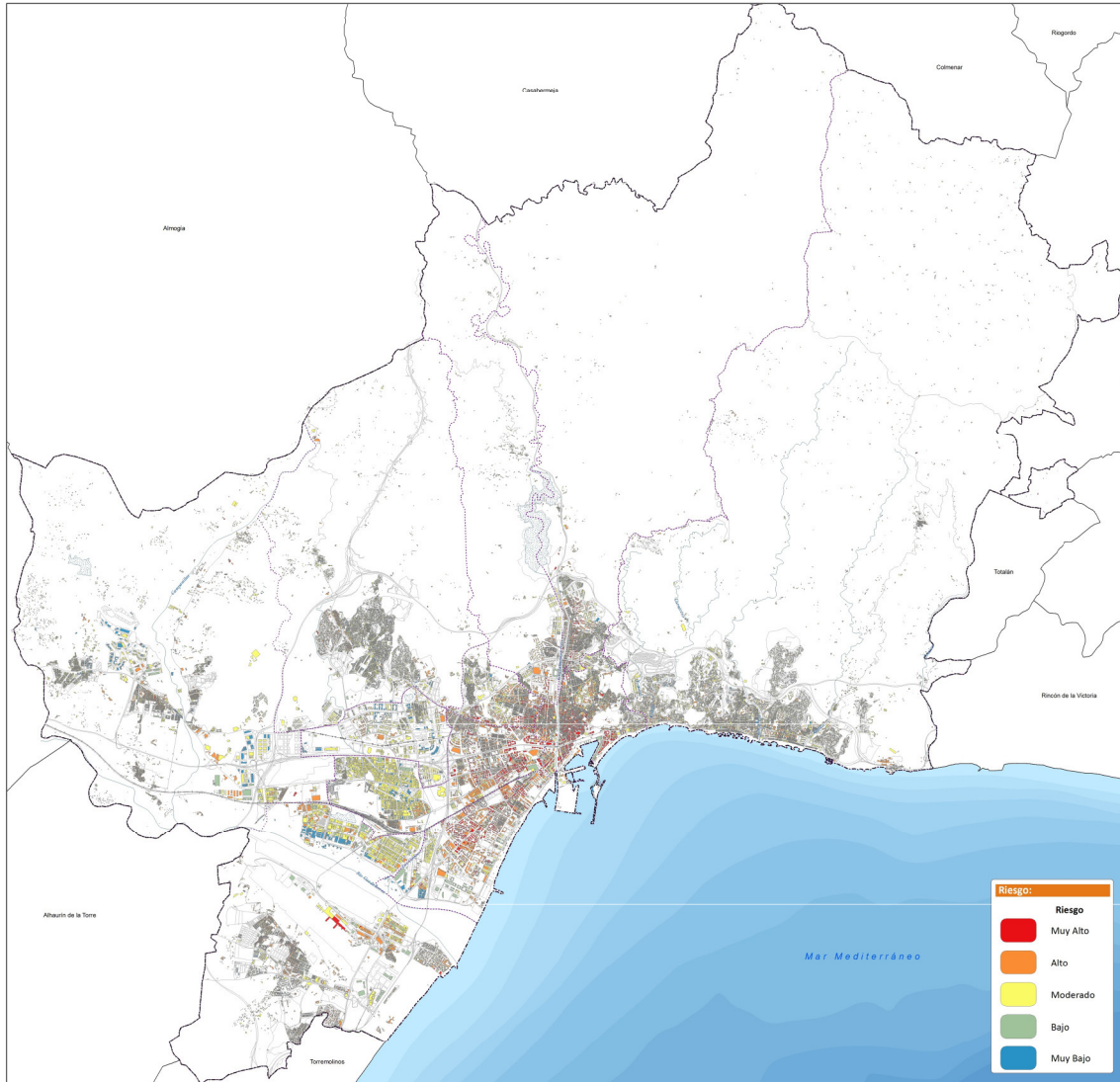


Figura 49. Mapa final de Riesgo sísmico del T.M. de Málaga.

En el **ANEXO X: CARTOGRAFÍA** se muestra con detalle todos los mapas relacionados con el Riesgo Sísmico del T.M. de Málaga.