



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FI DE CARRERA

Títol

Creación de una base de datos SIG de la *Val d'Aran*, orientada a la evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas (708-TRE-OP-4933)

Autor/a

Jessica Rodríguez Pereira

Tutor/a

**María de las Nieves Lantada Zarzosa
Xavier Goula Suriñach**

Departament

Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica

Intensificació

Transportes y servicios urbanos

Data

Octubre 2010

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a mis dos tutores, la Dra. María de las Nieves Lantada Zarzosa y el Dr. Xavier Goula Suriñach; por su asesoramiento, por su ayuda, por su interés, y por el esfuerzo realizado en el proceso de redacción y revisión de la memoria.

Por una parte, expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado y ayudado en el desarrollo de este trabajo. A la Dra. Teresa Susagna Vidal, a Gabriel Martínez Mateo, del IGC; y a Daniel Monfort Climent, del BRGM; por poner a disposición del proyecto el tiempo necesario, sus conocimientos y capacidades. Al Dr. Alex Barbat Barbat por su experto asesoramiento en la caracterización de las tipologías de la comarca de la *Val d'Aran*. Al Dr. Lluís G. Pujades Beneit por hacer posible realizar este trabajo en el marco del proyecto SisPyr. A Jairo Andrés Valcárcel Torres por sus recomendaciones en relación a los edificios singulares. A Jesús Filloy Míguez, a Jaime Lapedra y a Santiago Vidal, arquitectos y constructores de la zona, por compartir su experiencia y conocimientos sobre las edificaciones de la zona. A Emili Sanllehy Meya, a Jordi Gavaldà Bordes, a Joan Canalias Aurés, a Javier Castañeda Marina, a Eisharc Lois Jaquet Solé, del *Conselh Generau d'Aran*, por su colaboración a lo largo de todo el proyecto, por los contactos facilitados y por la información aportada. A Manuel Enseñat, por estar siempre a disposición y colaborar en las visitas a los edificios singulares.

Por otra parte, agradecer al *Institut Cartogràfic de Catalunya*, al *Institut de Estadística de Catalunya*, al Instituto Nacional de Estadística y a la Dirección General del Catastro la información y soporte que han proporcionado al sí del proyecto.

Finalmente, pero no menos importante, agradecer a la familia y amigos el apoyo y la paciencia en el decurso de todo el proyecto.

Este trabajo estuvo parcialmente financiado por el proyecto de investigación europeo INTERREG:POCTEFA 2007-2013/ 73/08, en el que, además del *Institut Geològic de Catalunya (IGC)*, coordinador del proyecto, y de la *Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*, también participan la universidad de *Toulouse III Paul Sabatier*, el Centro Nacional de Información Cartográfica del IGN de Madrid y el *Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)* de Montpellier.

Resumen

La elaboración de estudios de riesgo sísmico es una herramienta de gran utilidad para el gestor del territorio. Por una parte, permite desarrollar actuaciones de prevención encaminadas a la disminución del riesgo; planificar la respuesta frente a las situaciones de emergencia; y definir la estructura de coordinación y control de los diferentes organismos y entidades que han de cooperar. Por otra parte, en base a la información obtenida de los posibles daños causados por el terremoto, permite actuar según lo establecido en los planes de emergencia y realizar un seguimiento de la evolución de la emergencia. Con este objetivo, se crea la base de datos necesaria para la evaluación del riesgo sísmico en la comarca de la *Val d'Aran*.

El trabajo se estructura en dos partes. En la primera parte se pretende asentar los conocimientos primordiales en el marco de los estudios de riesgo sísmico; así, se habla de los elementos que forman parte del riesgo, al mismo tiempo que se describe la metodología empleada. En la segunda parte se describe la aplicación a la zona de estudio, la *Val d'Aran*. Para ello se elabora una base de datos que incorpora la información del parque de edificios: edad de construcción, altura, tipología; así como la información en relación a la población de la comarca.

El grado de daño medio esperado se estima en base a funciones semi-empíricas que son función de la acción sísmica y de la vulnerabilidad. Por un lado, la definición de la acción sísmica se realiza según términos de intensidad macrosísmica de la escala EMS'98. Por otro lado, la estimación de la vulnerabilidad del parque de edificios se realiza mediante el Método del Índice de Vulnerabilidad (MIV) que, caracteriza la respuesta de los edificios frente a un posible seísmo, asignándoles un valor que oscila entre cero, para edificios poco vulnerables, y uno, para edificios más vulnerables.

La simulación de daño se realiza en base a un escenario determinista que, corresponde a un seísmo análogo al terremoto histórico ocurrido el año 1923 con epicentro en la zona suroeste de la *Val d'Aran*, e intensidades entre VI y VIII.

Los resultados se obtienen a tres niveles diferentes: en primer lugar, se estudian los edificios residenciales de los núcleos y diseminados de la comarca a nivel de unidades definidas por estos mismos; en segundo lugar, se estudian los edificios residenciales del núcleo de Gausac a nivel de edificio a edificio; y en último lugar, se estudian 29 edificios de la comarca, considerados como singulares en caso de emergencia por la ocurrencia de un evento sísmico. El grado de daño medio obtenido varía entre nulo y leve, en función de la entidad de población. Este resultado se corresponde con el crecimiento histórico y su situación actual.

La base de datos creada sobre un Sistema de Información Geográfica (SIG) o Geographic Information System (GIS) permite integrar, actualizar, analizar, explotar y gestionar los datos, así como simular situaciones para la evaluación del riesgo sísmico. Además, debido a la información que recopila, ésta podría ser adaptada y ampliada para la realización de otros estudios. Por todo ello, es un instrumento eficiente para el desarrollo de medidas de prevención, disminución de riesgo y planificación y gestión en situaciones de gravedad.

Abstract

The development of seismic risk studies is a useful tool for the regional planners. On the one hand, they allow the development of preventive interventions aimed at reducing the risk and planning the response to emergency situations. On the other hand, based on information obtained from any damage caused by the earthquake, these tools allow acting as provided in emergency plans and monitor the evolution of the emergency. With this objective, the necessary database for the evaluation of seismic hazard in the region of Val d'Aran has been created.

This work is divided in two parts. In the first part, it is expected to establish key knowledge in the context of seismic risk assessments. Thus, the elements that form part of the risk are expounded, while describing the methodology used. In the second part, the application to the study area, the Val d'Aran region, is described. In that way, a GIS (Geographic Information System) database that incorporates information from current buildings has been prepared. The main georeferenced information that it contains for each urban area is: geometry, year of construction, number of stories and structural typology of buildings; as well as information regarding the seismic hazard and population of the region.

The damage degree expected is estimated with semi-empirical functions that are a function of the seismic action and vulnerability. On the one hand, the definition of the seismic action is performed according to terms of macroseismic intensity scale EMS'98. On the other hand, the estimate of the vulnerability of current buildings is made by the Vulnerability Index Method (VIM), which characterizes the response of buildings against a possible earthquake, by assigning a value ranging from zero, to less vulnerable buildings, to one, to the most vulnerable buildings.

The simulation of the damage is made in a deterministic scenario, which corresponds to an earthquake similar to the historical earthquake occurred in 1923 with its epicentre in the southeast of the Val d'Aran, and intensities between VI and VIII.

The results are obtained at three different levels: firstly, the residential buildings and scattered nuclei of the county are studied in the groups defined by them; secondly, the residential buildings of Gausac population centre are studied individually; and finally, 29 buildings in the region, which are considered singular in an emergency, are also studied. The damage degree obtained varies between from no damage to slight damage state, depending on the urban entity. This result corresponds to the historical growth of the region and its current situation.

The database created in a Geographic Information System (GIS) allows integrating, updating, analysing, exploiting, managing the data and simulating scenarios for seismic hazard assessment. Moreover, thanks to the information collected, this could be adapted and expanded for further studies. Therefore, it is an efficient tool for the development of prevention measures, risk reduction and planning and management in serious situations.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	5
ABSTRACT	7
ÍNDICE.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS	12
1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ANTECEDENTES	13
1.1. Introducción.....	15
1.2. Antecedentes	16
1.3. Motivación y objetivos	17
1.4. Contenido de la memoria.....	17
2. RIESGO FÍSICO. CONCEPTOS Y METODOLOGÍA	19
2.1. Introducción.....	21
2.2. La acción sísmica.....	21
2.3. Vulnerabilidad.....	23
2.3.1. Matriz de tipologías de edificios (BTM)	23
2.3.2. Índices de vulnerabilidad.....	25
2.4. El daño físico.....	29
2.4.1. Estado o grado de daño medio.....	31
2.5. Sistemas de información geográfica	33
3. APLICACIÓN A LA VAL D'ARAN: BASE DE DATOS	35
3.1. Caracterización del territorio	37
3.1.1. Marco territorial: situación y emplazamiento.....	37
3.1.2. Orografía, geología y peligrosidad sísmica	38
3.1.3. Marco social y económico	44
3.1.4. Divisiones administrativas.....	45

3.1.5.	Población	49
3.2.	Caracterización de los edificios.....	52
3.2.1.	Tipología de edificios	53
3.2.2.	Análisis de los edificios.....	57
3.2.3.	Vulnerabilidad	61
3.2.4.	Edificios singulares	63
4.	RESULTADOS.....	67
4.1.	Introducción.....	69
4.2.	Vulnerabilidad.....	69
4.2.1.	Resultados a nivel de unidades de estudio.....	69
4.2.2.	Resultados a nivel de edificios en <i>Gausac</i>	71
4.2.3.	Resultados de los edificios singulares.	72
4.3.	Escenarios de daño	73
4.3.1.	Resultados a nivel de unidades de estudio.....	73
4.3.2.	Resultados a nivel de edificio en <i>Gausac</i>	75
4.3.3.	Resultados de los edificios singulares	75
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	77
5.1.	Introducción.....	79
5.2.	Conclusiones	79
5.3.	Líneas futuras de trabajo	82
	REFERENCIAS	83
	ANEJO: ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL CENSO DE EDIFICIOS DEL 2001	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción simplificada de la escala macrosísmica europea EMS'98.	22
Tabla 2. Matriz de tipologías de edificios (BTM) de Risk-UE (2003).	25
Tabla 3. Índices de vulnerabilidad propuestos para cada tipología de la BTM de Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	26
Tabla 4. Modificador en función de la altura del edificio según la tipología (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	27
Tabla 5. Modificador en función del estado de conservación del edificio (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	27
Tabla 6. Modificador en función del sistema estructural (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	28
Tabla 7. Modificador en función de la cubierta del edificio en tipologías de mampostería (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	28
Tabla 8. Estimación del índice de vulnerabilidad más probable para un edificio aislado y para un grupo de edificios o categoría.	28
Tabla 9. Grados de daño en la escala EMS'98.	30
Tabla 10. Distancias a los grandes centros urbanos.	38
Tabla 11. Municipios, entidades de población y núcleos o diseminados de la comarca (INE).	49
Tabla 12. Población de los municipios de la Val d'Aran en los años 2001 y 2009 (Idescat).	51
Tabla 13. Población permanente y estacional, en número de habitantes y porcentaje, para cada municipio (PDEM).	52
Tabla 14. Tipologías constructivas presentes en la Val d'Aran.	53
Tabla 15. Intervalos de altura para cada tipología.	60
Tabla 16. Distribución de tipologías estimada en función del periodo y la altura de los edificios para los núcleos de Vielha y Vila.	61
Tabla 17. Índices de vulnerabilidad básicos, según Risk-UE (2003), de las tipologías presentes en la comarca de la Val d'Aran.	62
Tabla 18. Modificadores aplicados en función de la altura del edificio.	62
Tabla 19. Modificadores aplicados en función del estado de conservación del edificio.	62
Tabla 20. Información recopilada de los edificios singulares (resultado del trabajo de campo realizado en Agosto de 2010 dentro del Proyecto Sispyr).	65
Tabla 21. Índice de vulnerabilidad medio de cada unidad de estudio.	70
Tabla 22. Índices de vulnerabilidad básicos de los edificios singulares.	72
Tabla 23. Grado de daño medio de los edificios singulares.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Funciones semi-empíricas de vulnerabilidad.....	32
Figura 2. Representación de un escenario en formato vectorial y ráster (EIO UPC).	34
Figura 3. Situación de la comarca de la Val d'Aran en Catalunya.....	37
Figura 4. Mapa geológico de la comarca de la Val d'Aran.....	40
Figura 5. Leyenda del mapa geológico de la comarca de la Val d'Aran (Figura 4).....	41
Figura 6. Mapa de sismicidad en Catalunya (y zonas cercanas) en el periodo 1986 - 2000.	42
Figura 7. Estimación de las intensidades del seísmo de 1923 en los núcleos urbanos de la Val d'Aran....	43
Figura 8. Mapa actual de la distribución de terçons, sistema administrativo de la Val d'Aran.	46
Figura 9. Ordenación territorial de los municipios de la Val d'Aran.....	47
Figura 10. Distribución de los núcleos de población de la Val d'Aran.	47
Figura 11. Distribución de la población permanente para los núcleos de la Val d'Aran.	50
Figura 12. Densidad de población de los núcleos de la comarca.	51
Figura 13. Ejemplo de edificación de la tipología T1.....	54
Figura 14. Ejemplo de edificación de la tipología T2.....	55
Figura 15. Ejemplo de edificación de la tipología T3.....	55
Figura 16. Ejemplo de edificación de la tipología T4.....	56
Figura 17. Ejemplo de edificación de la tipología T6.....	56
Figura 18. Ejemplo de digitalización de las unidades de estudio en base a ortofotos (Casau y Vilac).	57
Figura 19. Diagrama de sectores con la proporción de edificios construidos respecto del total (2.859 edificios), durante cada periodo.	58
Figura 20. Diagrama de sectores con la proporción de edificios construidos de cada tipología (T1, T2 y T3 son estructuras de mampostería, T4 de hormigón y T6 metálicas, ver Tabla 14).	59
Figura 21. Diagrama de sectores con la proporción de edificios construidos respecto del total (2.859 edificios), en función del número de plantas.	60
Figura 22. Localización de los edificios singulares en el núcleo de Vielha.....	66
Figura 23. Representación del Índice de Vulnerabilidad medio de cada unidad de estudio.	71
Figura 24. Representación del año de construcción de los edificios del núcleo de Gausac (Rodríguez, 2010).....	72
Figura 25. Representación del grado de daño medio de las unidades de estudio.....	73
Figura 26. Distribución de las probabilidades de ocurrencia de cada estado de daño parados valores diferentes de grados de daño medio leve $\mu_D=0,6$ y $\mu_D=1,5$	74
Figura 27. Representación de la probabilidad de daño moderado de las unidades de estudio.	74

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ANTECEDENTES

1.1.Introducción

El riesgo sísmico se compone de dos elementos principales: el terremoto y el entorno humano (viviendas, servicios, instalaciones y otros). Consecuentemente, un mismo terremoto puede ocasionar diferentes pérdidas en función del entorno urbano en el que se produzca. Por ejemplo, puede ser destructivo en caso de localizarse en zonas muy pobladas o con edificaciones de mala calidad; en cambio, en el caso de ocurrir en una zona desértica o con construcciones de buena calidad suele causar pocos daños.

El análisis del riesgo sísmico entendido como el análisis de la peligrosidad, de la vulnerabilidad y de la estimación de pérdidas económicas es una herramienta imprescindible para cuantificar, prevenir e, incluso, disminuir los daños potenciales que provocan los terremotos en la sociedad. Así, los países desarrollados con una peligrosidad sísmica elevada han logrado que los terremotos dejen de causar víctimas humanas. Sin embargo, en zonas con peligrosidad sísmica baja o moderada se tiende a olvidar las precauciones de sismo-resistencia y las prácticas constructivas que mejoran el comportamiento dinámico de las construcciones. Todo ello, conjuntamente a la progresión de las ciudades (aumento de población y crecimiento urbano e infraestructural) implica un incremento de la vulnerabilidad sísmica. *Catalunya*, en general, y la comarca de la *Val d'Aran*, en particular, se engloban en el segundo caso (zonas de peligrosidad sísmica baja o moderada que mantienen un peligro sísmico constante, pero un aumento del riesgo).

El parque de edificios constituye el lugar donde habita y se reúne la población. Por ello, resulta de gran importancia el análisis de este aspecto en caso de seísmo. Actualmente, son diversas las metodologías desarrolladas a nivel mundial para realizar esta clase de análisis de riesgo sísmico. La elección de la metodología aplicable se basa en el nivel de actividad sísmica y en la información relativa disponible sobre la zona de estudio. En concreto, para las zonas de baja o moderada peligrosidad son las metodologías más simples las que acostumbran a emplearse para obtener una evaluación inicial de los daños. Este hecho se debe a la falta de hábito en la realización de esta clase de estudios y a la falta de información, que acostumbra ser escasa o incompleta.

En *Catalunya* los niveles de intensidad sísmica son bajos (iguales o menores a VIII), al igual que la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de mayor intensidad. Esta situación conlleva a no esperar daños importantes en el entorno urbano. No obstante, la realización de estudios de análisis de riesgo del parque de edificios resulta de gran utilidad a los gestores del territorio. Su importancia recae en el hecho que el resultado de las evaluaciones se emplea en el diseño de planes de emergencia y en la redacción de normativas o de medidas de prevención, con el objetivo de minimizar el riesgo existente.

En relación al objetivo de reducir el riesgo, son diversas las estrategias que se pueden seguir. Por un lado, aunque no posible en la actualidad, cabe citar la estrategia que minimiza el factor de peligrosidad; lo cuál sería posible con una predicción temporal y espacial del fenómeno. Por otro lado, mencionar la estrategia que reduce el factor de vulnerabilidad, mediante la correcta aplicación de las normas de sismo-resistencia en la construcción del parque de edificios, y mediante la rehabilitación de los edificios existentes.

El empleo de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en el análisis del riesgo sísmico permite integrar la información recopilada para el estudio. Esta información contiene los datos

sobre los diversos aspectos que caracterizan el riesgo de la zona de estudio: peligrosidad, vulnerabilidad y daño. Al mismo tiempo, permite representar esta información de manera gráfica, creando mapas de peligrosidad, de vulnerabilidad y de daño. Todo ello, a su vez, posibilita gestionar y explotar la información, facilitando la comprensión de la misma y el posterior tratamiento de datos y resultados directos y/o derivados. Con el tiempo es posible actualizar la base de datos creada para, a su vez, obtener unos resultados actualizados sobre el riesgo sísmico de la zona.

1.2. Antecedentes

En el ámbito del estudio del riesgo sísmico en la comarca de la *Val d'Aran*, no se tiene constancia de ningún trabajo previo. No obstante, existen diversos estudios similares en Andorra y otras zonas de *Catalunya*.

El 15 de Mayo del 1995 se produjo, en *Catalunya*, un terremoto de magnitud 4,3. Éste causó alarma y estimuló el interés de las autoridades municipales sobre el peligro y riesgo sísmicos de la ciudad. Así, en el 2002, después del pertinente estudio, fue aprobado y homologado el Plan de Emergencia Sísmica de Catalunya (Pla especial d'emergencies sísmiques a Catalunya, SISMICAT, 2003).

A nivel europeo, el proyecto ISARD (2006) (Información Sísmica Automática Regional de Daños) es un proyecto de cooperación transfronteriza entre Francia y España realizado entre los años 2003 y 2007. En él se realiza un estudio conjunto en el *Pirineu* español y francés, concretamente, en la zona de la *Cerdanya*, e incluyendo el *Principat d'Andorra*. Concretamente, cabe destacar la tesis doctoral realizada por González (2010). La metodología empleada en dicha tesis para obtener escenarios de riesgo sísmico en los núcleos urbanos del *Principat de Andorra*, será aplicada en este trabajo para identificar las zonas urbanas de la *Val d'Aran* y completar la información necesaria en la base de datos SIG

A nivel local, se puede mencionar el estudio de evaluación del riesgo sísmico de la ciudad de *Barcelona* (Lantada 2007). Este estudio está basado en el proyecto europeo Risk-UE (2003). Actualmente, se está realizando el proyecto SIGEOINRISK (2010) (Contribuciones Sismológicas, Geofísicas y de Ingeniería a la Predicción y Prevención del Riesgo Sísmico). Este segundo estudio se realiza, actualmente a nivel local, en la ciudad de *Girona*.

Actualmente se está llevando a cabo el proyecto SisPyr (2010) (Sistema de Información Sísmica del Pirineo), es un proyecto de investigación financiado parcialmente por el programa INTERREG IV en Francia, España y Andorra. Además del Instituto Geológico de Catalunya, coordinador del proyecto, y de la UPC, también participan la universidad de Toulouse III Paul Sabatier, el Centro Nacional de Información Cartográfica del IGN de Madrid y el BRGM de Montpellier.

Los objetivos principales de dicho proyecto son el desarrollo de redes transfronterizas de observación sísmicas, intercambio de datos e investigación sobre aspectos fundamentales de la sismicidad de los *Pirineus*.

Para desarrollar las herramientas de prevención del riesgo sísmico para las poblaciones que viven en un entorno pirenaico amplio se aplicarán los conocimientos desarrollados en proyectos anteriores como Risk-UE (2003) y ISARD (2006) en zonas piloto; a casos como por ejemplo, la comarca de la *Vall d'Aran*, o a escala más local, la ciudad de *Girona*.

1.3. Motivación y objetivos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto SisPyr (2010) y, más concretamente, en acuerdo al estudio de la vulnerabilidad de los edificios de viviendas y de los edificios singulares de la comarca de la *Val d'Aran*. El objetivo principal del presente proyecto es la creación de una base de datos en el entorno de una herramienta SIG que, a su vez, permita un estudio estadístico de la vulnerabilidad sísmica de los edificios, ya sea por zonas o polígonos de composición tipológica homogénea o de distribución tipológica conocida, o por edificios individuales. El resultado final ha de posibilitar la realización del estudio de vulnerabilidad del parque de edificios de la comarca frente a la ocurrencia de un seísmo.

Otros objetivos más específicos que aborda este trabajo son los expuestos a continuación:

- Recopilar y filtrar la información necesaria para el estudio de riesgo sísmico referente a los censos de viviendas y de población, para integrarla en la base de datos SIG.
- Digitalizar la delimitación de los polígonos que conformarán las unidades cartográficas de estudio, citadas anteriormente.
- Realizar visitas de campo a la zona de estudio que permitan validar y ampliar la información recopilada anteriormente.
- Identificar las tipologías constructivas más representativas de la comarca y adaptarlas a las tipologías Risk-UE (2003), con la colaboración de técnicos locales.
- Asignar a cada tipología los índices de vulnerabilidad según la metodología de Nivel 1 de Risk-UE (2003), utilizada también en el proyecto ISARD (2006) para la *Cerdanya*.
- Determinar la distribución de las tipologías en base a las unidades de estudio, considerando el periodo de construcción y la altura de cada uno de los edificios.
- Integrar y estructurar topológicamente, en el sistema de información geográfica, toda la información recopilada.
- Obtener y representar la vulnerabilidad y el grado de daño medio para cada una las unidades de estudio, así como para los edificios singulares.

La creación de la base de datos permitirá la realización de estudios de riesgo sísmico en base a diferentes escenarios, tal y como se verá en un ejemplo concreto. Esto, a su vez, debe permitir la planificación y gestión en situaciones de emergencia

1.4. Contenido de la memoria

La memoria consta de cinco capítulos, en cada uno de los cuales se desarrolla una temática concreta. Al final de estos, se adjunta un anejo con los gráficos del análisis de datos efectuados en el sistema de información geográfica.

El primer capítulo realiza una introducción del trabajo. En él se presentan los antecedentes de los estudios de riesgo sísmico realizados en el territorio catalán, los objetivos que se pretenden alcanzar en el presente trabajo y el contenido de la memoria.

En el segundo capítulo se introducen los conceptos básicos en referencia a los estudios de riesgo sísmico; así como también se describe la metodología de evaluación de la vulnerabilidad, y la metodología de estimación del grado de daño medio empleada para la realización de los estudios.

El tercer capítulo presenta la información necesaria para poder realizar el estudio de riesgo sísmico. Por un lado, se caracteriza la zona de estudio mediante una breve descripción de los factores más relevantes de la misma. Por otro lado, se caracteriza la información sobre el parque de edificios de la zona.

En el cuarto capítulo se muestran los resultados estimados de la vulnerabilidad del parque de edificios y del grado de daño medio que estos sufrirían con la ocurrencia de un seísmo, en base a tres niveles de estudio. Por una parte, a nivel de unidades de estudio definidas por las diversas entidades de población de la comarca. Por otra parte, a nivel de edificio individual en el núcleo de Gausac. Y, por último, a nivel de los edificios singulares de la comarca.

El quinto capítulo contiene las conclusiones que se desprenden del estudio realizado, y pretende sentar un marco genérico para ampliar el trabajo actual con futuras líneas de estudio e investigación.

2. RIESGO FÍSICO. CONCEPTOS Y METODOLOGÍA

2.1.Introducción

Frecuentemente se utiliza el término *riesgo* en referencia a lo que, actualmente, se denomina *peligrosidad* o *amenaza*, así como también el término *vulnerabilidad* se emplea constantemente con el mismo significado que el de *riesgo*. Es por ello que, con el objetivo de diferenciar entre los términos riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad, se exponen a continuación las definiciones de los mismos dadas por Varnes (1984).

- Peligrosidad Natural (*H*): es la probabilidad de que un fenómeno natural potencialmente dañino suceda en un sector determinado y dentro de un intervalo específico de tiempo.

- Vulnerabilidad (*V*): se define como el grado de pérdidas que un determinado elemento o conjunto de elementos experimenta como consecuencia de un fenómeno natural de magnitud dada. Aunque se utilizan diferentes escalas, se puede expresar en una escala normalizada que varía desde 0 (sin daños) hasta 1 (pérdida total).

- Grado de daño o pérdidas (*D*): se relaciona con las consecuencias negativas producidas o que se pueden producir por la ocurrencia de un fenómeno natural. Estas consecuencias no deseadas pueden ser la pérdida de vidas humanas, daños materiales en vías de servicio y líneas vitales, y daños estructurales en edificios.

- Elementos del territorio (*E*): constituyen la población, propiedades y actividades económicas, incluyendo los servicios públicos, que están expuestos a un peligro natural en un área dada.

- Riesgo en sentido estricto (*Rs*): es el grado de pérdidas esperadas en un determinado elemento debidas a un fenómeno natural específico de una magnitud particular y en un período de exposición determinado. El riesgo se suele expresar mediante la convolución de la peligrosidad y la vulnerabilidad del elemento expuesto, como se observa en la ecuación (1).

$$R_s = (H) \otimes (V) \quad (1)$$

- Riesgo en sentido global (*Rt*): expresa una valoración global de las consecuencias del evento en el sector analizado, en función de la pérdida de vidas humanas, heridos, propiedades dañadas, o perturbación de la actividad económica como consecuencia de un determinado fenómeno natural, y se calcula mediante la convolución entre el riesgo en sentido estricto y los elementos de riesgo.

$$(R_t) = (E) \otimes (R_s) = (E) \otimes (H) \otimes (V) \quad (2)$$

2.2.La acción sísmica

Existen diferentes formas de representar la acción sísmica, en este estudio se utilizará la intensidad macrosísmica.

La intensidad es un concepto anterior a la existencia de instrumentos capaces de registrar los movimientos del suelo y constituye una regla para medir la capacidad destructiva de un terremoto. Sus grados se establecen a partir de la interpretación por parte del técnico que efectúa la evaluación, de la información recogida por observación directa y a partir de encuesta a la población. Es por todo ello que la intensidad se suele considerar un parámetro

subjetivo. No obstante, el uso de la intensidad macrosísmica, estadísticamente objetivada, es ampliamente aceptado por la comunidad científica.

Desde el siglo XVI existen antecedentes de clasificaciones sencillas de los efectos causados por los terremotos y, desde entonces, han existido diversas escalas. Las más recientes de uso en Europa son las escalas MSK-64 y la EMS'98 (Grüntal 1998), que constan de 12 grados. En la Tabla 1 se muestra una descripción simplificada de los 12 grados para la escala EMS'98.

Grado EMS	Definición	Descripción de los efectos típicos observados
I	No sentido	No sentido.
II	Apenas notado	Notado sólo por muy pocas personas en reposo.
III	Débil	Notado por pocas personas en el interior. La gente en posición de reposo nota un bamboleo o temblor suave.
IV	Ampliamente observado	Notado por muchos en el interior de los edificios y por muy pocos en el exterior. Pocas personas se despiertan. Las ventanas y puertas crujen y la vajilla traquetea.
V	Fuerte	Notado en el interior por la mayoría y por pocos fuera. Unos pocos se asustan. Los edificios tiemblan. Los objetos colgados bambolean considerablemente. Se mueven objetos pequeños. Las puertas y ventanas se balancean, se abren o se cierran.
VI	Causa daños ligeros	Mucha gente se asusta y corre hacia el exterior. Algunos objetos caen. Muchas casas sufren daño ligero no estructural como pequeñas grietas y caída de enlucidos.
VII	Causa daño	La mayoría de la gente se asusta y corre al exterior. Los muebles se mueven y caen muchos objetos de las estanterías. Muchos edificios ordinarios bien construidos sufren daños moderados: pequeñas roturas en las paredes, caída de enlucidos, parte de las chimeneas caen; los edificios más antiguos pueden presentar grandes roturas en los muros y caída de tabiques.
VIII	Causa daño severo	Mucha gente tiene dificultad para mantener el equilibrio. Muchas viviendas tienen grandes roturas en las paredes. Unos pocos edificios ordinarios bien construidos presentan fallos serios de los muros mientras que estructuras más viejas y débiles pueden colapsar.
IX	Destruccion	Pánico general. Muchas construcciones débiles colapsan. Incluso los edificios ordinarios bien construidos presentan daño severo: fallos serios de los muros y fallo parcial de la estructura.
X	Muy destructivo	Muchos edificios ordinarios bien construidos colapsan.
XI	Devastador	La mayoría de edificios bien construidos colapsan y son destruidos incluso algunos con un buen diseño sismo-resistente.
XII	Totalmente devastador	Casi todos los edificios sufren destrucción.

Tabla 1. Descripción simplificada de la escala macrosísmica europea EMS'98.

2.3. Vulnerabilidad

En el presente estudio se emplea la metodología propuesta en el proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) para evaluar la vulnerabilidad de los edificios residenciales y que se basa en el método del índice de vulnerabilidad. Dicha metodología, denominada de Nivel I en Risk-UE (2003), clasifica el parque constructivo de la zona de estudio en clases de vulnerabilidad, para después realizar un análisis de vulnerabilidad en cada edificio, en función de su comportamiento individual o en función de su posición en la manzana o a los edificios adyacentes.

2.3.1. Matriz de tipologías de edificios (BTM)

La matriz de clasificación de edificios (*Building Typology Matrix, BTM*) sintetiza las diferentes características del inventario de edificios construidos en los países europeos participantes en el proyecto Risk-UE (2003): Bulgaria, España, Francia, FYRoM (*Former Yugoslav Republic of Macedonia*), Grecia, Italia, y Rumania, denominados como países Risk-UE (Lungu et al., 2001).

Esta matriz tiene por objetivo agrupar en una serie de clases los edificios con una tipología estructural y comportamiento similar. Esta clasificación se realizó en base a una serie de parámetros de los edificios que intervienen en el grado de daños y pérdidas:

- Parámetros estructurales, que afectan a la capacidad y respuesta estructural del edificio.
- Nivel de diseño sísmico.
- Sistema estructural base (material y estructura).
- Altura del edificio.
- Elementos no estructurales, que afectan al daño no estructural.

La BTM de Risk-UE (2003), que se puede observar en la Tabla 2, contiene un total de 23 clases de edificios, de los cuales 10 son de mampostería, 7 de hormigón armado, 5 de estructura metálica y 1 de estructura de madera.

Label	Description	Height classes		
		Name	Nº of stories	Height range (m)
M1.1L	Rubble stone, fieldstone.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M1.1M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M1.2L	Simple stone.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M1.2M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M1.2H		High-rise	6 +	> 15
M1.3L	Massive stone.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M1.3M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M1.3H		High-rise	6 +	> 15
M2L	Adobe.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M3.1L	Wooden slabs URM.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M3.1M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M3.1H		High-rise	6 +	> 15
M3.2L	Masonry vaults URM.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M3.2M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M3.2H		High-rise	6 +	> 15

Label	Description	Height classes		
		Name	Nº of stories	Height range (m)
M3.3L	Composite slabs URM.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M3.3M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M3.3H		High-rise	6 +	> 15
M3.4L	RC slabs URM.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M3.4M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M3.4H		High-rise	6 +	> 15
M4L	Reinforced or confined masonry.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M4M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M4H		High-rise	6 +	> 15
M5L	Overall strengthened masonry.	Low-rise	1 - 2	≤ 6
M5M		Mid-rise	3 - 5	6 - 15
M5H		High-rise	6 +	> 15
RC1L	RC moment frames.	Low-rise	1 - 3	≤ 9
RC1M		Mid-rise	4 - 7	9 - 21
RC1H		High-rise	8 +	> 21
RC2L	RC shear walls.	Low-rise	1 - 3	≤ 9
RC2M		Mid-rise	4 - 7	9 - 21
RC2H		High-rise	8 +	> 21
RC3.1L	Regularly infilled RC frames.	Low-rise	1 - 3	≤ 9
RC3.1M		Mid-rise	4 - 7	9 - 21
RC3.1H		High-rise	8 +	> 21
RC3.2L	Irregular RC frames.	Low-rise	1 - 3	≤ 9
RC3.2M		Mid-rise	4 - 7	9 - 21
RC3.2H		High-rise	8 +	> 21
RC4L	RC dual systems	Low-rise	1 - 3	≤ 9
RC4M		Mid-rise	4 - 7	9 - 21
RC4H		High-rise	8 +	> 21
RC5L	Precast concrete till-up walls.	Low-rise	1 - 3	≤ 9
RC5M		Mid-rise	4 - 7	9 - 21
RC5H		High-rise	8 +	> 21
RC6L	Precast concrete frames with concrete shear walls.	Low-rise	1 - 3	≤ 9
RC6M		Mid-rise	4 - 7	9 - 21
RC6H		High-rise	8 +	> 21
S1L	Steel moment frames.	Low-rise	1 - 3	≤ 10
S1M		Mid-rise	4 - 7	10 - 25
S1H		High-rise	8 +	> 25
S2L	Steel braced frames.	Low-rise	1 - 3	≤ 10
S2M		Mid-rise	4 - 7	10 - 25
S2H		High-rise	8 +	> 25
S3L	Steel frames with URM infill walls.	Low-rise	1 - 3	≤ 10
S3M		Mid-rise	4 - 7	10 - 25
S3H		High-rise	8 +	> 25
S4L	Steel frames with cast-in-place concrete shear walls.	Low-rise	1 - 3	≤ 10
S4M		Mid-rise	4 - 7	10 - 25
S4H		High-rise	8 +	> 25
S5L	Steel and RC composite systems.	Low-rise	1 - 3	≤ 10
S5M		Mid-rise	4 - 7	10 - 25
S5H		High-rise	8 +	> 25

Label	Description	Height classes		
		Name	Nº of stories	Height range (m)
WL	Wooden structures.	Low-rise	1 - 2	≤ 5.5
WM		Mid-rise	3 +	> 5.5

Tabla 2. Matriz de tipologías de edificios (BTM) de Risk-UE (2003).

La BTM final de Risk-UE (2003) contiene 65 tipologías diferentes de edificios, en relación a algunas de sus propiedades consideradas como factores clave en el comportamiento del edificio. Así, a partir del parámetro de la altura del edificio se han creado tres subcategorías :

- Low-rise (*L*): altura baja, de 1 a 2 plantas para las estructuras de mampostería y las de madera, y de 1 a 3 plantas para edificios de hormigón armado y con estructura de metal.
- Mid-rise (*M*): altura media, de 3 a 5 plantas para las estructuras de mampostería y las de madera, y de 4 a 7 plantas para edificios de hormigón armado y con estructura de metal.
- High-rise (*H*): altura alta, con 6 o más plantas para las estructuras de mampostería y las de madera, y con 8 o más plantas para edificios de hormigón armado y con estructura de metal.

2.3.2. Índices de vulnerabilidad

El método del Índice de Vulnerabilidad se basa en la clasificación de los edificios de la zona de estudio en tipologías básicas, caracterizadas mediante índices de vulnerabilidad básicos. Además, se consideran las características particulares de cada edificio, como el número de pisos o el nivel de protección sísmica, a partir de modificadores del índice básico.

2.3.2.1. Índices básicos

Los índices básicos empleados en el presente trabajo siguen las directrices del proyecto Risk-UE (2003). Estos índices oscilan entre un valor de cero a uno, siendo los valores más cercanos a cero los correspondientes a los edificios menos vulnerables, mientras los valores más cercanos a uno corresponden a los edificios más vulnerables.

Typology	Description	VI representative values				
		$V_{I,BTM}^{\min}$	$V_{I,BTM}^-$	$V_{I,BTM}^*$	$V_{I,BTM}^+$	$V_{I,BTM}^{\max}$
M1.1	Rubble stone, fieldstone.	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
M1.2	Simple stone.	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M1.3	Massive stone.	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M2	Adobe.	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
M3.1	Wooden slabs.	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M3.2	Masonry vaults.	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
M3.3	Composite steel and masonry slabs.	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
M3.4	Reinforced concrete slabs.	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M4	Reinforced or confined masonry walls.	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
M5	Overall strengthened.	0.3	0.49	0.694	0.953	1.02
RC1	Concrete Moment Frames.	-0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
RC2	Concrete shear walls.	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC3.1	Regularly infilled walls.	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98
RC3.2	Irregular frames.	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
RC4	RC Dual systems (RC frame and wall).	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86

Typology	Description	VI representative values				
		$V_{I,BTM}^{\min}$	$V_{I,BTM}^-$	$V_{I,BTM}^*$	$V_{I,BTM}^+$	$V_{I,BTM}^{\max}$
RC5	Precast Concrete Tilt-Up Walls.	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
RC6	Precast C. Frames, C. shear walls.	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
S1	Steel Moment Frames.	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
S2	Steel braced Frames.	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
S3	Steel frame + unreinf. mas. infill walls.	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
S4	Steel frame + cast-in-place shear walls.	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
S5	Steel and RC composite system.	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
W	Wood structures.	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Tabla 3. Índices de vulnerabilidad propuestos para cada tipología de la BTM de Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

La Tabla 3 muestra los valores que toma el índice de vulnerabilidad para cada una de las tipologías de la BTM. En la columna $V_{I,BTM}^*$ se indica el valor más probable; las columnas $V_{I,BTM}^-$ y $V_{I,BTM}^+$ definen el intervalo plausible del índice de vulnerabilidad; y las columnas $V_{I,BTM}^{\min}$ y $V_{I,BTM}^{\max}$ son los límites inferior y superior de los índices de vulnerabilidad que se consideran posibles.

En el caso de que un edificio se corresponda directamente con algunas de las tipologías definidas en la Tabla 3 se le asigna el índice de vulnerabilidad correspondiente al valor más probable. En caso contrario, el índice de vulnerabilidad se adapta para que este se corresponda con las características particulares de cada uno de los edificios.

2.3.2.2. Modificadores

Así, el índice de vulnerabilidad de cada edificio particular V_I^* puede ser modificado para adecuarse a las características específicas. Esta adaptación del índice de vulnerabilidad se basa en el incremento del mismo según unos parámetros constructivos y geométricos.

El índice de vulnerabilidad característico más plausible de cada edificio en particular (\bar{V}_I), se obtiene mediante la ecuación (3).

$$\bar{V}_I = V_I^* + \Delta M_R + \Delta M_C \quad (3)$$

Donde:

ΔM_R : modificador regional, y

ΔM_C : modificador de comportamiento.

Modificador regional ΔM_R

El factor regional de vulnerabilidad (ΔM_R) permite considerar la calidad particular y la normativa constructiva de determinadas tipologías de edificios, según la región donde se encuentran situados.

Modificador de comportamiento ΔM_C

La variación del índice V_I^* según el modificador de comportamiento se puede expresar como una función de varios parámetros. La puntuación resultante que modifica el índice de vulnerabilidad básico se obtiene mediante la adición de los diversos modificadores de comportamiento.

$$V_{i-\text{edificio}} = V_{i-\text{clase}} + \sum_{j=1}^n M_{Cj} \quad (4)$$

Donde:

$V_{i-\text{clase}}$: índice de vulnerabilidad básico, y

M_{Cj} : cada uno de los n modificadores aplicables.

En el presente estudio se consideran cuatro modificadores de comportamiento que son: el número de plantas, el estado de conservación, el sistema estructural y la conexión del tejado. A continuación se describe con detalle cada uno de los modificadores y se cuantifica su valor.

- **Número de plantas:** el comportamiento en función del número de plantas del edificio se basa en diferentes criterios según la tipología a la que pertenezca el edificio. Así pues, en la Tabla 4 se pueden observar los valores modificadores según los edificios pertenezcan a una tipología de mampostería u hormigón.

Tipología	Parámetros	Puntuación
Edificios de mampostería	Bajo (1 - 2)	-0.02
	Medio (3 - 5)	+0.02
	Alto (+ 6)	+0.06
Edificios de hormigón armado	Bajo (1 - 2)	-0,04
	Medio (3 - 5)	0,00
	Alto (+ 6)	+0,08

Tabla 4. Modificador en función de la altura del edificio según la tipología (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

Los edificios con estructura metálica o de madera, se les aplicará los modificadores correspondientes a los edificios de hormigón y mampostería respectivamente.

- **Estado de conservación:** este permite penalizar la presencia de desperfectos en las estructuras y otras irregularidades o fallos en el proceso constructivo. Las directrices del proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) proponen cuantificar el estado de conservación en función de la edad del edificio, sobre la base de que los edificios se deterioran con el paso del tiempo y, por tanto, sufren una progresiva pérdida de capacidad resistiva. Sin embargo, en el presente estudio se dispone información del Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat) en relación al estado de conservación de los edificios.

Tipología	Parámetros	Puntuación
Edificios de mampostería	Buen estado de conservación	-0,04
	Mal estado	+0,04
Edificios de hormigón armado	Pre o Bajo código de diseño sísmico	+0,04
	Código medio	+0,02
	Código alto	+0,00

Tabla 5. Modificador en función del estado de conservación del edificio (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

- **Sistema estructural (structural system):** este modificador permite ajustar el índice de vulnerabilidad en base a las características estructurales de los muros de la edificación como el grosor, la distancia y las conexiones.

Tipología	Parámetros	Puntuación
Edificios de mampostería	Grosor de los muros	-0,04 a +0,04
	Distancia entre muros	
	Conexión entre muros perpendiculares	
	Conexión horizontal entre muros y estructura	

Tabla 6. Modificador en función del sistema estructural (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

- **Cubierta (Roof):** esta presenta unas características que deben considerarse en el momento de determinar el índice de vulnerabilidad. En concreto, las características a valorar son: el peso de la cubierta, la existencia de tirantes o elementos horizontales rígidos y el tipo de conexión de la misma con los muros.

Tipología	Parámetros	Puntuación
Edificios de mampostería	Peso cubierta + empuje cubierta	+0,04
	Conexión cubierta	+0,04

Tabla 7. Modificador en función de la cubierta del edificio en tipologías de mampostería (traducida al español, de Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

2.3.2.3. Índices de vulnerabilidad plausibles

Si no se dispone del índice de vulnerabilidad para cada edificio, se podrá calcular un índice asociado a un grupo de edificios, este grupo se representará en el SIG mediante un polígono que delimitará esa zona urbana. En función de la proporción de edificios de cada clase o categoría Ci que contenga dicho polígono podrá calcularse un índice de vulnerabilidad de la siguiente forma:

Edificio aislado (V_{IBTM}^*)	Grupo de edificios o Categoría (V_{ICat}^*)
Valores del índice de vulnerabilidad básico V_1^* de la Tabla 3	$V_{ICat}^* = \sum_t p_t \cdot V_{IBTM}^* t$ <p>p_t es la proporción de edificios de la tipología t que están dentro de la categoría i. $V_{IBTM}^* t$ es el índice de vulnerabilidad básico V_1^* de la tipología t (Tabla 3)</p>

Tabla 8. Estimación del índice de vulnerabilidad más probable para un edificio aislado y para un grupo de edificios o categoría.

La Tabla 3 permite asignar el índice de vulnerabilidad a edificios individuales, pero mediante la expresión de segunda columna de la Tabla 8, también a colecciones o grupos de edificios cuya composición sólo se conoce de forma estadística. Este último caso es típico de ciudades en las que la información sobre las características tipológicas de los edificios individuales es escasa, parcial o incompleta y se estima la distribución global de edificios estableciendo categorías cuya composición estadística se suele estimar a partir de muestreos en zonas representativas de la ciudad (distritos, barrios o zonas censales por ejemplo).

En este caso cada categoría puede agrupar diferentes tipos de edificios de la matriz de tipologías de edificios (BTM) en una proporción que viene determinada por la distribución estadística de la muestra. En este sentido en la Tabla 8 establece el procedimiento para estimar el índice de vulnerabilidad plausible de un edificio particular directamente identificable dentro de la matriz tipológica, y de una categoría o agrupación de edificios de características comparables y cuya distribución estadística dentro de la agrupación es conocida.

2.4.El daño físico.

El daño esperado en entornos urbanos se analiza frecuentemente mediante curvas de fragilidad o matrices de probabilidad de daño. Así, dado un estado de daño y un edificio, para cada nivel de la acción sísmica, la curva de fragilidad define la probabilidad de que se iguale o exceda el estado de daño considerado. De igual manera, para cada edificio, para cada terremoto y para cada estado de daño, la Matriz de Probabilidad de Daño (MPD) determina la probabilidad de que el edificio considerado sufra ese nivel de daño.

Consecuentemente a lo descrito el párrafo anterior, las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño son equivalentes, estableciendo un vínculo entre el escenario sísmico considerado y el daño esperado para un edificio concreto.

Ambos procedimientos precisan fijar: como se cuantifica la acción sísmica, como se tipifica el edificio, la cantidad de estados de daños que se consideran y como están definidos. En este sentido, en el apartado 2.2 se ha definido la peligrosidad en términos de intensidad macrosísmica; y en el apartado 2.3 la forma de caracterizar los edificios mediante índices de vulnerabilidad.

En relación a la cantidad de estados y a su definición, a continuación se detallan en la Tabla 9, la escala EMS'98. Ésta considera cinco grados o clases de daño, seis en caso de considerar el grado o estado de daño nulo (grado 0).

En la descripción de los diferentes grados o estados de daño se describen de manera cualitativa los daños esperados; no obstante, hay que tener en cuenta que esta descripción del daño esperado se basa en observaciones a lo largo de más de un siglo, por lo que ambas proporciona una buena idea del escenario sísmico esperado.

Clasificación del daño en los edificios de mampostería



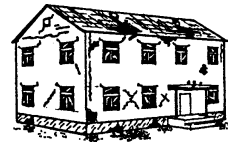
Grado 1: Daño leve.

(Sin daño estructural; daño no estructural leve). Grietas finas en muy pocas paredes, caída de pequeños trozos del yeso o enlucido. En muy pocos casos se produce la caída de piedras sueltas de las partes altas del edificio.



Grado 2: Daño moderado.

(Daño estructural leve; daño no estructural moderado). Grietas en muchas paredes y caída de trozos bastante grandes del yeso



Grado 3: Daño severo.

(Daño estructural moderado, daño no estructural considerable). Grandes grietas en la mayoría de las paredes, tejas del tejado sueltas y rotura de las chimeneas al nivel del suelo. Rotura de elementos no estructurales individuales (particiones, hastiales, etc.).



Grado 4: Daño muy severo.

(Daño estructural severo, daño no estructural muy severo). Roturas graves en los muros y derrumbe estructural parcial de suelos y techos.



Grado 5: Destrucción.

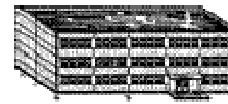
(Daño estructural muy severo). Colapso total o casi total del edificio

Clasificación del daño en los edificios de hormigón armado



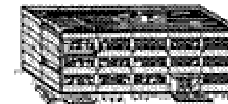
Grado 1: Daño leve.

(Sin daño estructural; leve daño no estructural). Grietas finas en el yeso sobre los elementos estructurales en la base de las paredes y en las paredes de separación y de relleno.



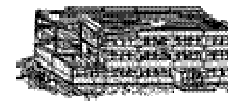
Grado 2: Daño moderado.

(Daño estructural leve; daño no estructural moderado). Grietas en las columnas, vigas, muros estructurales y en las paredes de relleno. Caída de trozos de yeso y de mortero de las juntas de las paredes.



Grado 3: Daño severo.

(Daño estructural moderado, daño no estructural considerable). Roturas en las columnas y en las juntas viga-columna a nivel del suelo. Deformación del acero de refuerzo, grandes grietas en las paredes de relleno y caída de paneles de relleno aislados.



Grado 4: Daño muy severo.

(Daño estructural severo, daño no estructural muy severo). Grandes grietas en los elementos estructurales con fallos a compresión del hormigón y fallo de las uniones de las vigas. Deformación de las columnas y colapso de algunas columnas o de algún piso superior.



Grado 5: Destrucción.

(Daño estructural muy severo). Colapso del primer piso o partes del edificio.

Tabla 9. Grados de daño en la escala EMS'98.

2.4.1. Estado o grado de daño medio

A partir de una intensidad sísmica definida, se supone que la probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño se basa en una distribución Binomial o Beta equivalente. Estas distribuciones se caracterizan mediante un único parámetro, en este caso, denominado Estado o Grado de Daño Medio (DS_m) que se define mediante la expresión (5):

$$DS_m = \sum_{i=0}^N iP[DS_i] \quad (5)$$

Donde:

- N: número de estados de daño considerados,
- i: número correspondiente al estado de daño DS_i (de 0 a 5 en el caso de MIV), y
- $P[DS_i]$: probabilidad de ocurrencia del estado de daño i.

DS_m representa el estado de daño más probable. Así, por ejemplo, en función de la ecuación (5), un valor nulo de este parámetro indica que la probabilidad de todos los estados de daño distinto del estado de daño nulo (0) es nula. En cambio, un valor elevado ($DS_m=5$ en el caso del método del índice de vulnerabilidad) indica que la probabilidad del estado de daño de colapso es 1. Por último, en el caso de un valor de $DS_m=1,3$, esto indica que el estado de daño más probable de ese edificio o colección de edificios, varía entre leve y moderado, siendo más probable el estado de daño leve.

Aunque el cartografiado de escenario de daño puede efectuarse mediante la representación de la distribución espacial de la probabilidad $P[DS_m]$ para cada estado de daño específico (5 mapas en el caso de MIV), el grado de daño medio es particularmente útil, ya que permite hacerse una idea clara y precisa del nivel de daño global y de su distribución geográfica en un único mapa. El grado de daño medio, además es un parámetro eficiente en el momento de realizar comparaciones entre diferentes escenarios sísmicos.

2.4.1.1. Funciones de vulnerabilidad

La metodología empleada es la del Método del Índice de Vulnerabilidad, propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino (2002) y descrita en Milutinovic y Trendafiloski (2003) en el proyecto Risk-UE (2003). A continuación se describe esta metodología que utiliza funciones semi-empíricas.

A partir de la intensidad que afecta a cada edificio y de su índice de vulnerabilidad definitivo, se puede obtener el grado de daño medio o grado de daño más probable μ_D , cuyo valor varía entre 0 y 5, y cuyo significado es igual al de DS_m (ecuación (5)). De este modo, para cada edificio, se puede obtener fácilmente la probabilidad de daño asociada a cada uno de los seis estados de daño. Así pues, valores pequeños de μ_D indican poco daño, mientras que valores grandes corresponden a daños severos de acuerdo a los estados de daño adoptados: 0) nulo (*None*), 1) leve (*Slight*), 2) moderado (*Moderate*), 3) severo (*Heavy*), 4) extensivo (*Extensive*), y 5) completo (*Destruction*).

Para cada edificio, este grado de daño medio μ_D , se estima a partir de su índice de vulnerabilidad \bar{V}_I y de la correspondiente intensidad sísmica I , según una función semi-empírica (6) propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino (2002).

$$\mu_D = 2,5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6,25\bar{V}_I - 13,1}{2,3} \right) \right] \quad (6)$$

Ajustando los índices de vulnerabilidad \bar{V}_I y los correspondientes grados de daño medio para cada tipología, se obtienen unas funciones de vulnerabilidad que correlacionan el grado de daño medio μ_D , la intensidad macrosísmica I y el índice de vulnerabilidad V_I . La Figura 1 muestra estas funciones para diferentes tipos de edificios considerados en el proyecto Risk-UE (2003); se puede observar que la tipología M1.1 (edificios de muros de carga con mampostería de piedra y machacada, ver Tabla 3) corresponde al tipo de edificio más vulnerable.

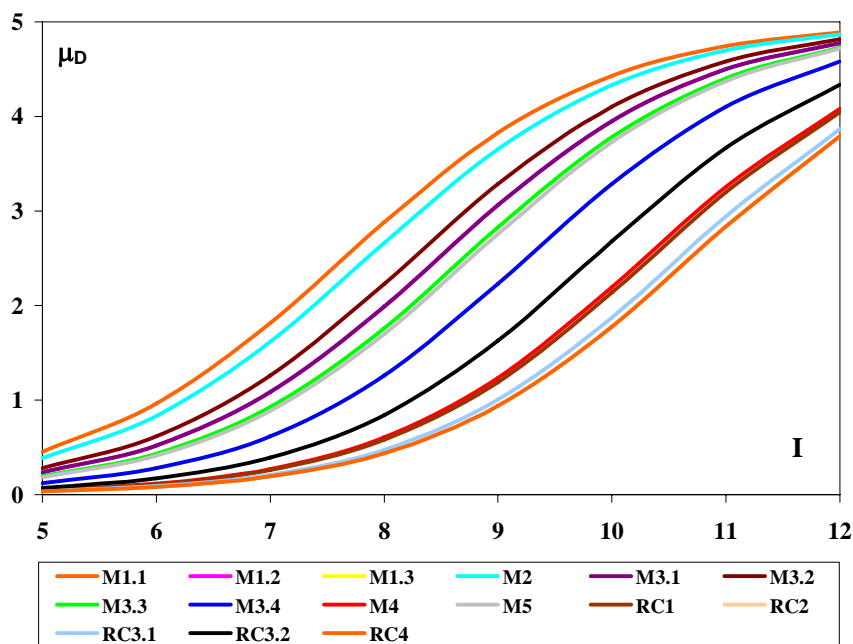


Figura 1. Funciones semi-empíricas de vulnerabilidad.

2.4.1.2. Matrices de probabilidad de daño

La probabilidad $P_{\beta}(x)$ de que un edificio de una tipología determinada sufra un cierto grado de daño, al ser afectado por un terremoto de una intensidad sísmica determinada x , puede ser modelada mediante una función de distribución Beta o Binomial equivalente (7), que vendrá definida por un único parámetro, el grado de daño medio μ_D .

$$P_{\beta}(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(r)\Gamma(t-r)} \frac{(x-a)^{r-1}(b-x)^{t-r-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b \quad (7)$$

Donde:

- Γ : función Gamma,
- a : valor extremo mínimo de la función de densidad de probabilidad de la distribución,
- b : valor extremo máximo de la función de densidad de probabilidad de la distribución,
- t : parámetro de la dispersión de la distribución, y
- r : parámetro de ajuste entre distribución Binomial y la distribución Beta.

Los valores extremos a y b de la función deben tomar valores que permitan hallar las probabilidades de ocurrencia o de excedencia de cada uno de los estados de daño

considerados. En el caso presente, como los estados de daño considerado son seis, los valores extremos son: $a=0$ y $b=6$.

El parámetro t se fija en un valor de 8, para que la distribución Beta, en este caso, sea similar a la distribución Binomial (Giovinazzi y Lagomarsino, 2002). El parámetro r se ajusta de forma que la distribución Binomial de parámetro μ_D sea equivalente a la distribución Beta definida por la ecuación (7).

Los parámetros de las distribuciones Binomial y Beta están relacionados según la siguiente ecuación (8).

$$r = t(0,007\mu_D^3 - 0,052\mu_D^2 + 0,2875\mu_D) \quad t = 8 \quad (8)$$

Generalmente, la distribución Beta es más versátil que la distribución Binomial pero, en caso de ajustar los parámetros como se ha indicado, resulta equivalente a ella.

La probabilidad de que el estado de daño se encuentre entre los valores a y x se define mediante la función de Distribución Beta Acumulada (*Cumulative Distrbute Function, CDF*), y se obtiene mediante la integración de la función definida en la ecuación (7), tal y como indica la siguiente expresión:

$$P_\beta(x) = \int_a^x p_\beta(\varepsilon) d\varepsilon \quad (9)$$

De esta manera la probabilidad de cada grado de daño k , para valores de k desde 0 hasta 5, se obtiene mediante:

$$P_k = P_\beta(k + 1) - P_\beta(k) \quad (10)$$

Otro concepto manejado en estudios de daño y riesgo sísmico es la curva de fragilidad, que para un edificio y un estado de daño dado, define la probabilidad de excedencia en función de la intensidad sísmica. Esta curva también puede obtenerse, directamente, a partir de la Distribución Beta Acumulada (CDF) de la siguiente forma:

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_\beta(k) \quad (11)$$

2.5.Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica (SIG) son sistemas que permiten integrar y analizar información gráfica y alfanumérica de forma conjunta, posibilitando visualizar los datos obtenidos en forma de mapas.

Los SIGs permiten trabajar con información gráfica en dos formatos: vectorial y ráster. Por una parte, la información en formato vectorial se representa mediante tres elementos geométricos básicos: el punto, la línea y el polígono; de esta manera la realidad queda reducida a una serie de pares ordenados de coordenadas. Por otra parte, la información gráfica en formato ráster se compone de cualquier tipo de imagen digital representada en mallas; dividiendo el espacio en celdas regulares, dónde cada una representa un valor. A continuación, se muestra en la Figura 2 la representación de un escenario en ambos formatos.

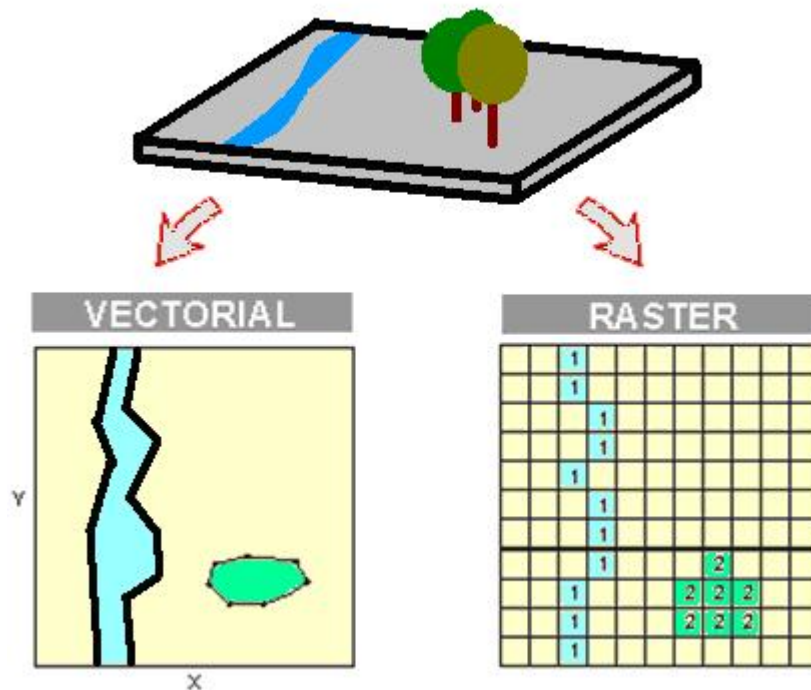


Figura 2. Representación de un escenario en formato vectorial y ráster (EIO UPC).

La información alfanumérica se compone de tablas, donde la información de cada registro es la correspondiente a cada unidad de información gráfica. Las tablas pueden incorporar diferentes campos, según el estudio que se vaya a realizar; así pues, se puede asociar a cada registro uno o varios campos. Por ejemplo, a la entidad gráfica polígono que representa un núcleo urbano se le puede asociar los campos que corresponda para el estudio que se vaya a realizar (área, perímetro, población, número de edificios...) en el respectivo registro de la tabla.

En base a lo expuesto en los párrafos anteriores, y en el decurso del presente trabajo, se ha empleado información gráfica bidimensional en ambos formatos: vectorial, para la información de la delimitación municipal y urbanística, entre otros; y ráster, en el caso de la información geográfica de base, generada a partir de ortofotos de la zona de estudio. En relación a la información alfanumérica de cada uno de los elementos gráficos, se han integrado los campos necesarios para la realización del análisis; como por ejemplo, los datos estadísticos de tipología y estado de conservación del parque de edificios o el índice de vulnerabilidad medio de los núcleos urbanos.

Actualmente, el SIG es una herramienta de gran utilidad debido a su capacidad para realizar modelos o representaciones del mundo real a partir de bases de datos digitales integradas en la información gráfica. La construcción de modelos de simulación conforma un instrumento eficiente para el análisis de las tendencias, de los factores de influencia y de las consecuencias de las decisiones de planificación sobre los servicios y recursos de la zona estudiada. Estos sistemas también permiten simular los efectos que un proceso de la naturaleza produce sobre un determinado escenario.

En este sentido, para la creación de la base de datos de este proyecto, y su posterior análisis y representación, se ha empleado el software ArcGIS de la empresa ESRI (www.esri.es) y, concretamente, la versión 9.3.

3. APLICACIÓN A LA VAL D'ARAN: BASE DE DATOS

3.1. Caracterización del territorio

A continuación, se realiza una breve descripción de algunos de los factores más característicos de la zona de estudio. El objetivo que se pretende alcanzar, con ello, es contextualizar el estado de la comarca, para así facilitar la comprensión e interpretación de los resultados obtenidos, posteriormente, en el análisis del riesgo sísmico.

Los aspectos característicos de la zona que se describen son: el marco territorial, la orografía, la peligrosidad, la población y el marco económico, entre otros. Cabe remarcar el hecho de que es el conjunto de estos rasgos lo que determina la realidad de la comarca y no cada elemento de forma aislada aunque, como método de análisis, se vayan a tratar separadamente.

3.1.1. Marco territorial: situación y emplazamiento

Por situación de un determinado lugar se entiende el marco territorial más amplio que determina y condiciona el propio lugar, así como la relación con los puntos de referencia externa.

Desde este punto de vista, la comarca de la *Val d'Aran*, con una superficie de 633,60 km², se sitúa en la zona central de los *Pirineus* y es la comarca más noroccidental de *Catalunya*. En este territorio, conjuntamente a las comarcas vecinas de Aragón, es donde se pueden encontrar las montañas más elevadas de la cordillera *Pirenaica*.



Figura 3. Situación de la comarca de la *Val d'Aran* en *Catalunya*.

El territorio aranés, los límites del cual coinciden con los de la comarca de la *Val d'Aran*, se considera una comarca aislada de los territorios vecinos. Este aislamiento se acentúa, de manera física, por el hecho que la comarca está rodeada por la cordillera *Prepirenaica*. Ésta dificulta el acceso a la Aran, que se ha de realizar a través de una sinuosa red viaria que, además, durante la mitad del año presenta complicaciones atmosféricas que dificultan la circulación. El aislamiento de la comarca aún se hace más palpable cuando se consideran las

distancias que separan la misma de los grandes centros urbanos más próximos, tal y como se puede observar en la Tabla 10.

Centro urbano	Distancia (Km)
Barcelona	360
Zaragoza	317
Donostia-San Sebastián	454
Toulouse	167

Tabla 10. Distancias a los grandes centros urbanos.

Se define como emplazamiento, el lugar entendido como conjunto espacial de formas erigidas por la naturaleza y transformado por la acción humana que lo caracterizan, y lo condicionan para futuras intervenciones.

En este sentido, la característica más importante del emplazamiento de la *Val d'Aran* es la condición de ser este un valle atlántico, es decir, encontrarse al norte de la línea divisoria pirenaica. Esto, hace que el río *Garona*, verdadero eje ordenador de la comarca, desemboque en el Atlántico, en tierras occitanas. Así mismo, este hecho tiene incidencia sobre los aspectos físicos y humanos de la comarca, e introduce claras diferencias entre la *Val d'Aran* y el resto de valles y comarcas pirenaicas de *Catalunya*.

La situación y el emplazamiento de la *Val d'Aran* han sido determinantes, a lo largo de la historia, en el desarrollo urbanístico y la economía. Ambos son un obstáculo para la evolución de los transportes, la explotación de los recursos comarcales y el establecimiento de relaciones más estrechas con los territorios vecinos.

3.1.2. Orografía, geología y peligrosidad sísmica

En el marco físico, y en referencia a la temática tratada, los factores más característicos de la zona de estudio son la orografía, la geología y la peligrosidad sísmica. Por una parte, la orografía es el factor que ha marcado el crecimiento de la comarca. Por otra parte, la geología y la peligrosidad sísmica son factores que intervienen directamente en el alcance del seísmo.

3.1.2.1. Orografía

La orografía característica de las grandes alturas de la cordillera pirenaica es papable en la situación de la comarca de estudio, siendo un aspecto importante en el desarrollo del territorio.

Así, una consideración importante es que la orografía ha sido y sigue siendo un verdadero obstáculo en las comunicaciones de la comarca con *Catalunya*. La infraestructura viaria que une la comarca con el resto de territorio catalán es bastante precaria y vulnerable a la climatología. Esta infraestructura la conforman: el *Plan de Beret* (1.850 m de altitud), el *Pòrt dera Bonaigua* (2.072 m de altitud) y el *Pòrt de Vielha* (2.400 m de altitud) que queda en desuso con la construcción del túnel de *Vielha*.

Por otra parte, la entrada o salida natural del *Aran* es el curso del *Garona*, lo que implica que, física y políticamente, exista una estrecha relación con Francia.

A continuación se describen los aspectos más relevantes de la orografía de la comarca: la orientación, la morfología, la altitud y la pendiente.

Orientación

En general, la orientación es la característica determinante de los rasgos físicos de la comarca. La *Val d'Aran* está situada al norte de la línea divisoria entre las vertientes atlántica y mediterránea de los *Pirineus*. Más concretamente, el valle del *Garona*, corredor vertebrador de la comarca, presenta desde su inicio hasta el pueblo de *Es Bòrdes* una orientación este-oeste que, posteriormente, cambia a una orientación sur-norte. La *Val* es, por otra parte, bastante cerrada y la única abertura al noroeste tiene una gran incidencia, tanto en el clima, por la entrada de vientos fríos del norte que esto propicia, como en el desarrollo de la historia y economía de la comarca, que a su vez influye en la evolución urbanística.

Morfología

La morfología glacial da a la comarca una configuración propia. Así pues, el glaciario creó todo un conjunto de formas características de la estructura paisajista aranesa: aristas y agujas en las partes más altas; rellanos indicadores de la altura de los glaciares; valles en forma de U con la parte inferior relativamente plana y con paredes de pendiente acusada; y en los nacimientos de los ríos, pequeñas cubetas de excavación convertidas en lagos de origen glacial. Este tipo de morfología está presente, sobretodo, en las valles del margen izquierdo del *Garona* y en el mismo río en *Mijaran* y *Naut Aran*.

Altitud

La comarca tiene cimas de gran altitud, por encima de los 2.800 m, así el punto más elevado del territorio es el *Besibèrri Nor* con 3.015 m. También cabe destacar el pico de *Molières* con 3.010 m, el *Gran Tuc de Colomèrs* con 2.933 m, el *Malh des Pois* con 2.881 m y el *Montardo* con 2.833 m. Todos ellos están situados en la línea divisoria de los *Pirineus* que separa la vertiente atlántica de la mediterránea (prácticamente el límite sur de *Aran*). En contraposición, el punto más bajo se sitúa en la frontera con Francia, exactamente, *Pònt de Rei* con una altitud de 600 m sobre el nivel del mar. Por otra parte, también hay que remarcar el hecho que solo un 5,4 % del territorio aranes se encuentra por debajo de los 1.000 m, mientras más del 40 % se sitúa por encima de los 2.000 m.

Pendiente

La *Val d'Aran*, debido a la morfología glacial, presenta pendientes acusadas en las vertientes de las montañas, con rellanos de considerable extensión por encima de estas paredes. No obstante, solo un 3,1 % del terreno es considerado plano, o sea, con una pendiente inferior al 10 %. Esto, como ya se ha puesto de manifiesto, evidencia la diferencia entre la cota máxima y mínima.

3.1.2.2. *Geología*

Los periodos geológicos fueron determinantes para la formación de cada uno de los diferentes tipos de rocas que forman el substrato de la *Val d'Aran*. La diversidad de roquedas se manifiesta en el hecho de que se distinguen cuatro zonas: la área de *Les*, la área de *Vielha*, la área del *sud de la Val* y la área de los fondos de los valles.

La primera de ellas, la área de *Les*, se caracteriza por tener las rocas más antiguas, concretamente, granito pegmático, pizarras micáceas y cuarcitas; formadas, probablemente, en la época cambriana.

En el caso de la segunda, la área de *Vielha*, predominan las calcáreas, sobre todo los esquistos y las pizarras devónicas que se formaron en los periodos devoniano y siluriano.

La área del *sud de la Val* es una zona de contacto con el macizo de la *Maladeta*, con predominio de las pizarras y de las areniscas; aunque también hay calcarías y, evidentemente, granito propio de la zona axial. Este conjunto de rocas ha sufrido fracturas y pliegues motivados por los movimientos hercínianos.

Por último, el área de los fondos de los valles, en ser superficies aproximadamente llanas, están dominadas por los materiales arrastrados, que han formado depósitos de morrenas de diferente composición mineralógica, o bien materiales caídos de lugares con fuertes pendientes, debido a la erosión periglacial. En definitiva, son las superficies de acumulación de la erosión cuaternaria, la más reciente.

Estas áreas diferenciadas que forman el substrato de la *Val* se pueden observar en la Figura 4. En conjunto, la geología de la *Val d'Aran* se incorpora dentro de la geología de *Catalunya* como una parte del zócalo pirenaico, levantado por la orogenia alpina y erosionado por la dinámica fluvial.

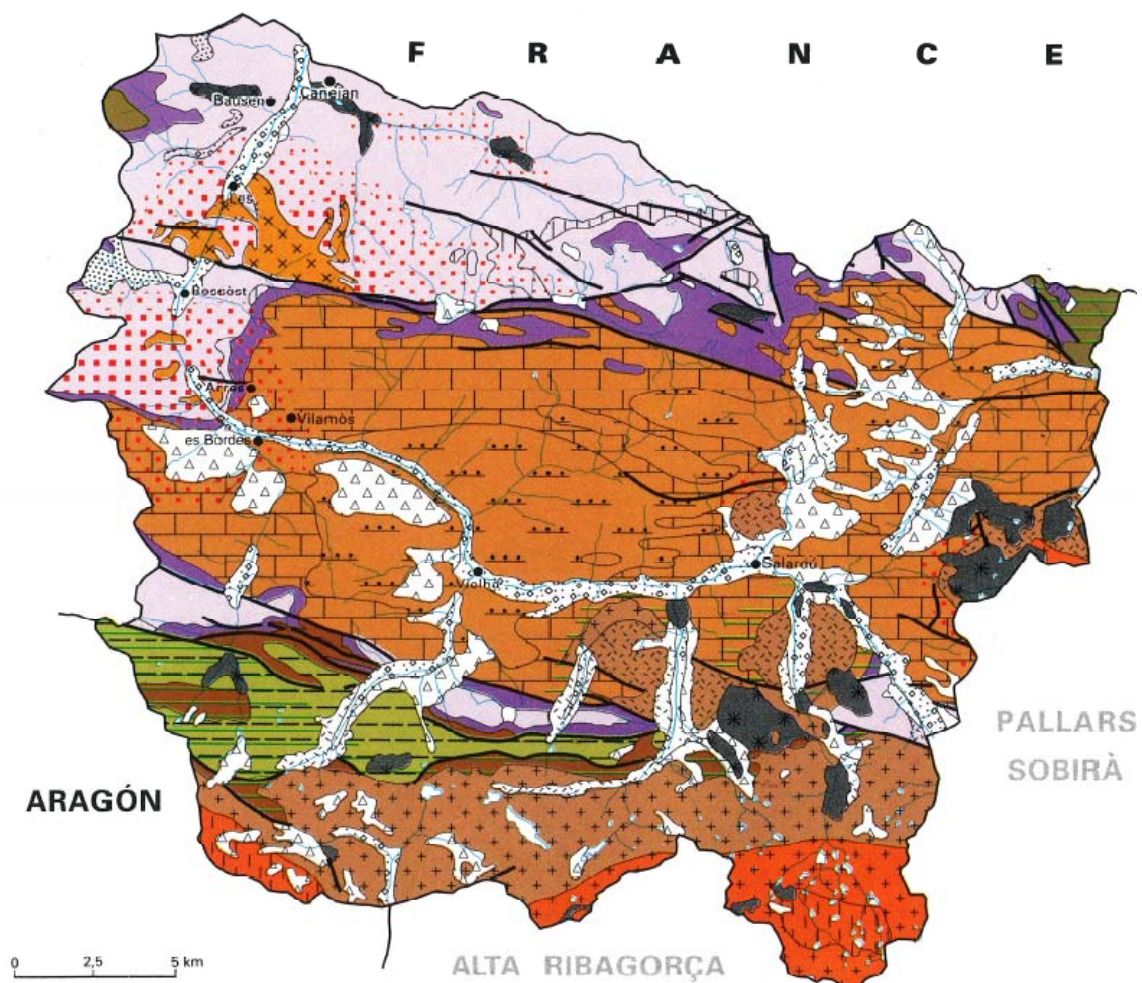


Figura 4. Mapa geológico de la comarca de la *Val d'Aran*.



Figura 5. Leyenda del mapa geològic de la comarca de la Val d'Aran (Figura 4).

3.1.2.3. Peligrosidad sísmica

En Catalunya, como se ha comentado anteriormente, los niveles de intensidad sísmica son bajos. No obstante, la actividad sísmica de mayor importancia se localiza en el Pirineu, concretamente, al norte de la zona axial, en la parte occidental. La Figura 6 muestra un mapa de sismicidad del territorio catalán, englobando, también, los seísmos de las zonas fronterizas con Francia y Aragón, que pueden tener repercusión en el territorio catalán.

En consecuencia, la comarca de estudio, la Val d'Aran, se localiza dentro de la zona de mayor actividad sísmica, como se puede observar en la Figura 6. No obstante, en el análisis de riesgo no solo se deben considerar aquellos seísmos ocurridos en el sí de la región de estudio; sino también, aquellos de mayor intensidad que se localizan en las afueras, pero pueden producir daños en la región estudiada.

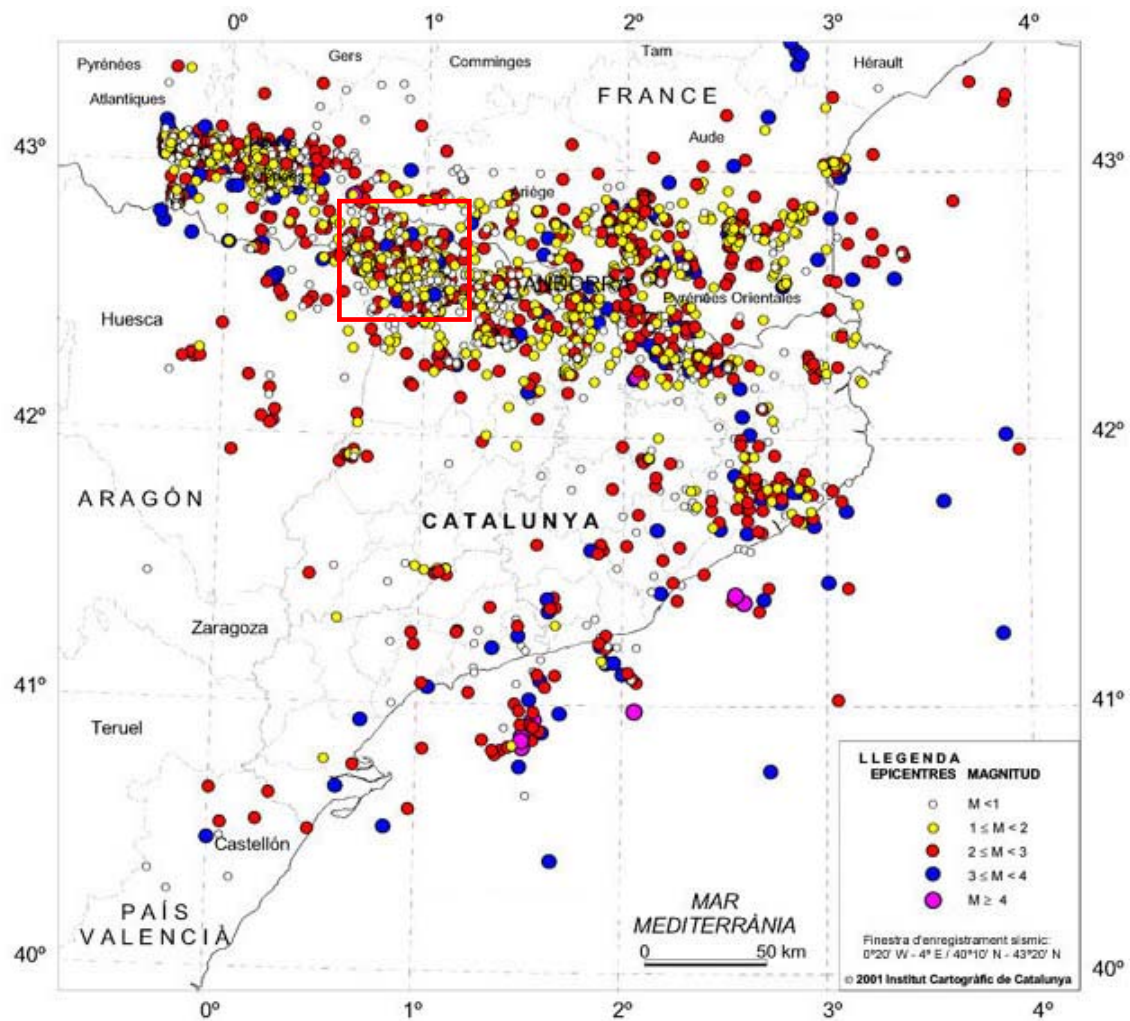


Figura 6. Mapa de sismicidad en Catalunya (y zonas cercanas) en el periodo 1986 - 2000.

En este sentido, cabe destacar diversos terremotos de gran intensidad ocurridos en la zona de afectación de la comarca a lo largo de los tiempos. En el año 1373 tuvo lugar un seísmo que, con una intensidad epicentral de VIII-IX, devastó una amplia zona de la *Ribagorça* (Olivera et al., 1994a). En 1427 y 1428 tuvo lugar, en el *Pirineu Oriental*, una serie sísmica con intensidades máximas entre VIII-IX y IX (Olivera et al., 1994b). En 1660, la parte Central de la cordillera sufrió una sacudida destructora de intensidad VIII-IX. En 1923 se produjo, en la *Val d'Aran*, un terremoto con un valor de intensidad de VIII que causó daños importantes (Susagna et al. 1994).

En el marco del presente trabajo se ha realizado un estudio determinista de la peligrosidad sísmica en la comarca, basado en la estimación de intensidades del seísmo ocurrido en 1923. Esta estimación, que se puede observar en la Figura 7, se basa, a su vez, en datos observados (Susagna et al., 1994), y en la estimación de las intensidades no observadas mediante una función de atenuación con la distancia al epicentro.

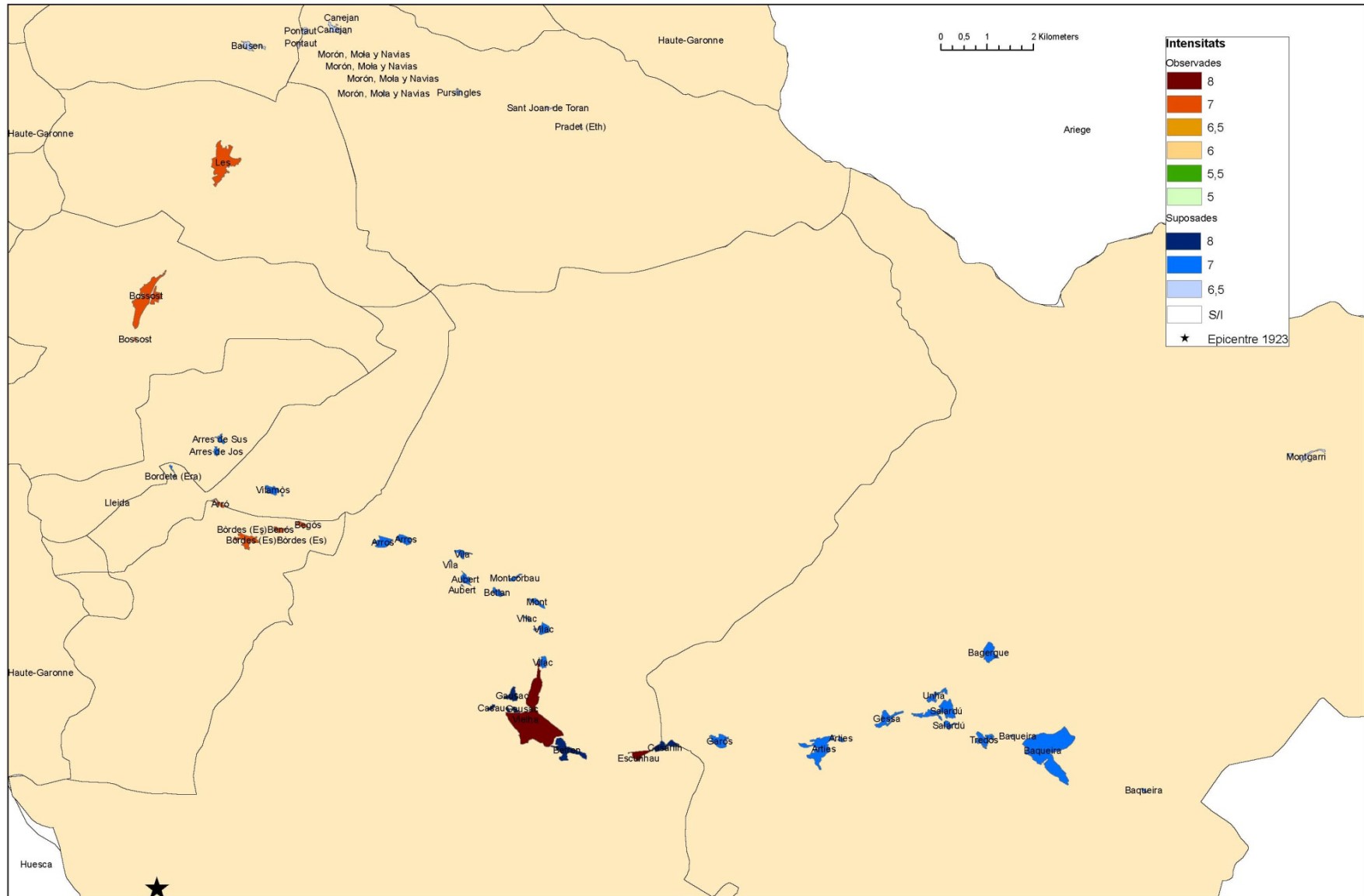


Figura 7. Estimación de las intensidades del seísmo de 1923 en los núcleos urbanos de la Val d'Aran.

3.1.3. Marco social y económico

En líneas generales, se pueden establecer tres grandes periodos en la historia económica: el primero, hasta mediados de los años veinte, caracterizado por un predominio de la explotación agrícola y ganadería del territorio; el segundo, con la construcción de las centrales hidroeléctricas y de las actuales vías de comunicación como inductores de transformaciones, y que se alargaría hasta los años sesenta, se caracteriza por la coexistencia del ganado con estas otras actividades económicas; y el tercero, a partir de los años sesenta/setenta, con el turismo como principal sector de actividad, que ha determinado la actual estructura socioeconómica de la comarca.

3.1.3.1. *Una sociedad agrícola y ganadera*

La economía aranesa, hasta los años veinte del pasado siglo, estaba orientada, básicamente, al autoconsumo. Asimismo, como la producción agrícola era precaria y no podía satisfacer por completo el autoconsumo, había que destinar una parte de los recursos económicos a la adquisición de bienes de mercado, para obtener los productos de primera necesidad. Por todo ello, hay que entender la dinámica económica aranesa a medio camino entre el autoconsumo y el espacio económico exterior.

Las casas, como principal unidad en la organización social y económica, debían dedicar sus esfuerzos productivos a completar una producción agrícola que era insuficiente. Esta compleción se basaba en la explotación de recursos orientados al mercado exterior, fundamentalmente los provenientes del ganado.

Los ingresos insuficientes y la necesidad de obtener moneda para adquirir los productos deficitarios, hacía necesaria una estrategia económica caracterizada por la complementariedad de actividades y la diversificación de producciones. La explotación forestal, los diferentes oficios, el comercio y las migraciones estivales eran las principales actividades que complementaban la agricultura.

3.1.3.2. *Del autoconsumo al mercado*

El período comprendido entre los años veinte y sesenta del siglo pasado se puede calificar como una etapa de transición caracterizada por que el comportamiento de las actividades económicas no está claro ni definido. La construcción de centrales hidroeléctricas y de infraestructuras viarias en la *Val d'Aran* empezó un proceso de importantes cambios en la estructura anterior.

Estos trabajos no ocupaban más que una pequeña parte de la población local, debido a la poca capacidad que tenía el sistema económico vigente de desprenderse grandes cantidades de mano de obra y a la poca afinidad que tenía la población local hacia estas nuevas actividades. Los inmigrantes (andaluces, murcianos y de otras regiones españolas en su mayoría) pasarían a tener desde entonces una presencia constante en la sociedad aranesa.

Asimismo, la llegada de una población no campesina tampoco contribuyó a la creación de un mercado interior para los productos locales, ya que las condiciones de la agricultura tradicional permitían, sólo ocasionalmente, la obtención de excedentes. Por el contrario, y a consecuencia del mismo desarrollo de las comunicaciones, comenzaron a introducirse en el valle productos alimenticios y bienes de consumo que antes eran obtenidos directamente, y nuevos productos

que con anterioridad no estaban presentes en la comarca (como es el caso del hormigón, llegado a finales de este periodo). Esto supuso el comienzo de un espacio económico expandido.

3.1.3.3. *El turismo*

Los primeros turistas llegaban a la *Val d'Aran* atraídos por la proximidad del importante centro turístico de *Bagnères de Luchon* y para descubrir la riqueza paisajística de *Aran*, así como los baños termales de *Les* y *Arties*. A partir de los años cincuenta, el turismo creció con la mejora de las comunicaciones, y con la competitividad de los precios españoles respecto a los franceses, que motivó la llegada de gente de Francia. Sin embargo, este sector de actividad no fue importante hasta 1964, con la apertura de las pistas de esquí de *Baqueira* y, posteriormente, con las de la *Tuca*, desarrollando un turismo que en los últimos años se centra, básicamente, en los meses de invierno.

A partir de la segunda mitad de los sesenta y sobre todo de los años setenta, el turismo crece bastante rápidamente, hasta el punto de acabar siendo el principal motor de la economía aranesa. Con éste, la entrada de nuevo capital ha contribuido, sobre todo, al desarrollo del sector de los servicios, que debe responder a una elevada demanda de trabajo y que acaba rompiendo la estructura de la organización económica anterior.

El turismo ha transformado radicalmente la *Val*. Por un lado, ha sido el motor del crecimiento económico de *Aran* y ha hecho posible una mejora sustancial del nivel de vida de los araneses, en términos relativos (más del 60% de la población depende del turismo). Por otro lado, ha supuesto un gran número de nuevas construcciones (a menudo han roto el paisaje y la estructura urbanística de los pueblos araneses) y ha supuesto el abandono de la agricultura y la ganadería, así como una creciente degradación del entorno.

3.1.4. Divisiones administrativas

La *Val d'Aran* es, actualmente, un partido judicial que comprende los municipios de la comarca. También, forma un arciprestado dentro del *Bisbat d'Urgell*, con la misma demarcación. Y es que, la *Val d'Aran* es una comarca con unas características particulares dentro del conjunto catalán, no solamente desde un punto de vista físico, como se ha visto anteriormente; sino también, desde un punto de vista administrativo.

Aran es una comarca con unas características de identidad que la diferencian del resto. En todas las divisiones territoriales que se han efectuado en *Catalunya*, la *Val d'Aran* ha conservado aproximadamente los mismos límites con las comarcas vecinas. Incluso la división medieval en veguerías, considera la *Val d'Aran* como un territorio a parte, no englobado en ninguna de ellas.

3.1.4.1. *Terçons*

El sistema político aranés se basa, sobretodo, en la necesidad de aprovechar y gestionar en común los bosques, las aguas y los pastos. Esta organización se fomentaba en las casas; cada individuo tenía que pertenecer a una casa. Todos los jefes de casa se juntaban en el *Conselh dera Vila* de cada pueblo, donde se resolvían los asuntos comunes y la organización del aprovechamiento de las montañas.

Los pueblos se agrupan en *terçons*; el *terçó* o *terçon* era el nombre de los tres sectores en que se dividía la Val d'Aran. Los tres *terçons* que existieron inicialmente eran *Garòs*, *Vielha* y *Bossòst*, denominados así al tomar el nombre del pueblo líder. Con el tiempo, cada *terçó* se subdividió en dos, y aunque se convirtieron en seis sectores, conservaron el nombre genérico de "terçon", y fueron: *Pujòlo*, *Arties*, *Castièro*, *Marcatosa*, *Lairissa* y *Quate-Locs*.



Figura 8. Mapa actual de la distribución de *terçons*, sistema administrativo de la Val d'Aran.

Los *terçons* engloban diferentes núcleos de población y era uno de ellos el que desempeñaba el papel de cabeza del mismo. El *terçó* de *Pujòlo*, tiene por cabeza *Salardú* y comprende, también, los pueblos de: *Tredòs*, *Bagergue*, *Gessa* y *Unha*. El *terçó* de *Arties*, tiene por cabeza el núcleo que lleva el mismo nombre y comprende, también, el pueblo de *Garòs*. El *terçó* de *Castièro*, con cabeza en *Vielha* comprende los pueblos de: *Gausac*, *Betren*, *Escunhau*, *Casarih* y *Casau*. El núcleo de *Vilac* es cabeza del *terçó* de *Marcatosa* y comprende, también, los pueblos de: *Mont*, *Montcorbau*, *Betlan*, *Aubèrt*, *Villa* y *Arròs*. El *terçó* de *Lairissa*, comprende *Vilamòs*, cabeza de *terçon*, *Arres de Sus* y *Arres de Jos*, *Arró*, *Benòs*, *Begòs* y *Es Bòrdes*. El *terçó* de *Quate-Locs*, comprende los cuatro núcleos más cercanos a Francia, los pueblos de *Bossòst*, que es cabeza, *Les*, *Bausen* y *Canejan*.

3.1.4.2. Municipios

La organización municipal de la Val d'Aran ha sido variable a lo largo del tiempo, debido a que la delimitación de los municipios se basaba en las tierras comunales. La división municipal actual consta de nueve municipios, dos de gran extensión en relación con el resto, que corresponden, prácticamente, a los dos *terçons* primitivos de *Garòs* y *Vielha*; y siete en la parte baja de la Val. Esta ordenación se puede observar en la Figura 9.

A pesar que la comarca solo consta de nueve municipios, ésta tiene un total de 41 núcleos o entes de población. La mayoría de éstos están situados a lo largo del valle del río *Garona*; a excepción de cuatro núcleos pequeños que se sitúan en el valle de *Toran*. En la Figura 10 se puede observar la ordenación territorial de las entidades de población en torno del eje vertebrador de la comarca.

Considerando la estructura y el tamaño de las poblaciones de la comarca, es necesario definir el criterio aplicable para diferenciar la zona urbana de la zona de diseminado. Así pues, se entiende por diseminado aquella edificación o conjunto menor de diez edificaciones que no superen los 50 habitantes y que, generalmente, no forman parte del viario urbano.



Figura 9. Ordenación territorial de los municipios de la Val d'Aran.

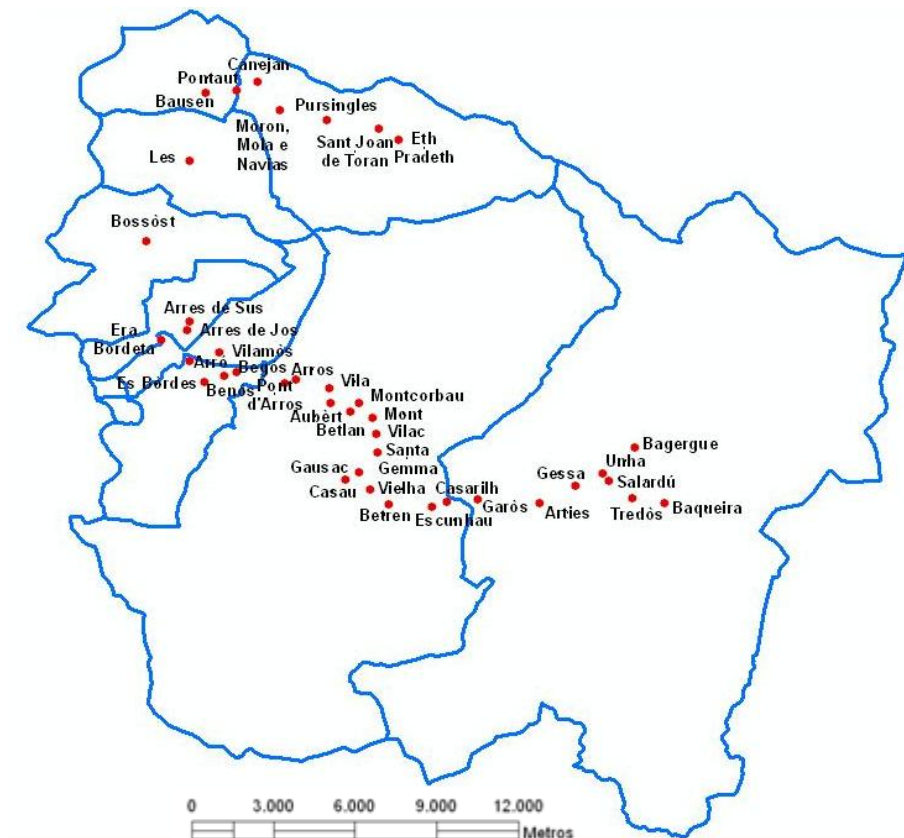


Figura 10. Distribución de los núcleos de población de la Val d'Aran.

A continuación, en la Tabla 11 se especifican para cada municipio las entidades de población, los núcleos y diseminados que engloba; así como también se detalla el código de identificación de cada municipio. Este código está fijado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), entidad que ha facilitado la información presente.

Código	Municipio	Entidad de población	Núcleo o diseminado
25031	Arres	00-01-Arres de Jos	01-Arres de Jos
		00-02-Arres de Sus	01-Arres de Sus
25045	Bausen	00-01-Bausen	01-Bausen
		00-02-Pontaut	01-Pontaut
25057	Bòrdes (Es)	00-01-Arró	01-Arró
		00-02-Begó	01-Begós
		00-03-Benós	01-Benós
		00-04-Bòrdes(Es)	01-Bòrdes (Es) diseminado
25059	Bossòst	00-01-Bossòst	01-Bossòst diseminado
25063	Canejan	00-03-Canejan	01-Canejan diseminado
		00-05-Moron i Mola	01-Moron i Mola i Navias
		00-06-Pradet (Eth)	01-Pradet (Eth)
		00-07-Puntaut	diseminado
		00-08-Pursingles	01-Pursingles
		00-09-Sant Joan de Toran	01-Sant Joan de Toran
25121	Les	00-01-Les	01-Les
25025	Naut Aran	00-01-Arties	01-Arties diseminado
		00-02-Bagergue	01-Bagergue
		00-03-Baqueira	01-Baqueira diseminado
		00-04-Garós	01-Garós
		00-05-Gessa	01-Gessa
		00-09-Montgarri	diseminado
		00-06-Salardú	01-Salardú diseminado
		00-07-Tredós	01-Tredós diseminado
		00-08-Unha	01-Unha
25243	Vielha e Mijaran	00-01-Arrós	01-Arrós 02-Pont d'Arrós
		00-02-Aubèrt	01-Aubèrt
		00-03-Betlan	01-Betlan
		00-04-Betren	01-Betren
		00-05-Casariilh	01-Casariilh diseminado
		00-06-Casau	01-Casau
		00-07-Escunhau	01-Escunhau
		00-08-Gausac	01-Gausac
		00-09-Mont	01-Mont

Código	Municipio	Entidad de población	Núcleo o diseminado
		00-10-Montcorbau	01-Montcorbau
		00-11-Vielha	02-Espitau 03-Vielha
		00-12-Vila	01-Vila
		00-13-Vilac	01-Santa Gemma 02-Vilac diseminado
25247	Vilamòs	00-02-Bordeta (Era)	01-Bordeta (Era)
		00-01-Vilamòs	01-Vilamòs diseminado

Tabla 11. Municipios, entidades de población y núcleos o diseminados de la comarca (INE).

3.1.5. Población

El análisis de la población de la zona de estudio es una de las variables esenciales para comprender el itinerario político, social y económico de una región. Además el conocimiento de la población actual y de su distribución sobre el territorio es indispensable a la hora de llevar a cabo uno de los objetivos principales de cualquier estudio de riesgo, salvar vidas humanas. La estimación del número de víctimas, entendiéndose como víctimas tanto las personas heridas como fallecidas o el número de personas que podrían perder su vivienda a causa de un terremoto, es clave en el diseño de los planes de emergencia. No obstante, la documentación existente al respecto es limitada; y además, resulta de difícil comparación debido a que las consecuencias de un terremoto son función del lugar y el momento que se produce, y a la intensidad del mismo.

Las peculiaridades de la economía de la comarca, en la actualidad, producen variaciones en la población en función de la hora del día (día/noche), del día de la semana (laboral/festivo) y de la época del año (temporada alta/temporada baja). El hecho de conocer estas variaciones resulta muy importante en la definición de los diferentes escenarios de daño de la población a estudiar. Así pues, en el presente trabajo se considera que el momento de ocurrencia es el de una noche de día laboral en temporada de otoño; o sea, según las condiciones de la comarca un escenario en que solo se considera la población residente.

Para una correcta evaluación del daño a la población es necesario que la información referente a esta se corresponda con la información del parque de edificios. En este sentido, la información sobre edificios es actualizada cada diez años; siendo la actualización vigente la realizada el año 2001. Como consecuencia de ello, la información sobre la población necesaria se ha obtenido del censo del correspondiente año (2001). La información del citado censo, solo se dispone de información de la población permanente en cada núcleo o diseminado de la zona. No obstante, en caso de profundizar en el estudio de riesgo sísmico en la comarca, sería interesante conocer los flujos de población, que en el caso de la *Val d'Aran* mueven una gran cantidad de personas.

Es por lo comentado anteriormente que a continuación se expone la población permanente según el censo del 2001, así como también el flujo poblacional según los datos del Pla Director de les Estacions de Muntanya (2006) (PDEM).

3.1.5.1. Población permanente

Según el censo del 2001, la población permanente de la Val d'Aran es de 7.689 personas. El municipio más poblado de la comarca es *Vielha-Mijaran*, que representa un poco más de la mitad de la población de toda la comarca, con un 52,40 %. Esto se debe, en parte, al hecho de ser el municipio que alberga la capital de la comarca que, a su vez, es también el núcleo más poblado con 2.508 habitantes, lo que supone un 32,62 %. En contraposición, el municipio menos poblado es el de *Bausen*, situado en la frontera con Francia, con un 0,69 % de la población total de la Val d'Aran. No obstante, es en el municipio de *Canejan*, también perteneciente a la zona fronteriza, donde se localizan los núcleos de población con menor número de habitantes, como son *Sant Joan de Toran* (0,03 % de la población), *Eth Pradeth* (0,05 % de la población) o *Pursingles* (0,08 % de la población).

En la Figura 11 se representa la población permanente para los diferentes núcleos urbanos. En ella se observa que solo el núcleo de *Vielha* tiene una población por encima de los 1.000 habitantes. A este núcleo le siguen los de *Bossòst* y *Les* con una población de 957 y 691 habitantes, respectivamente.

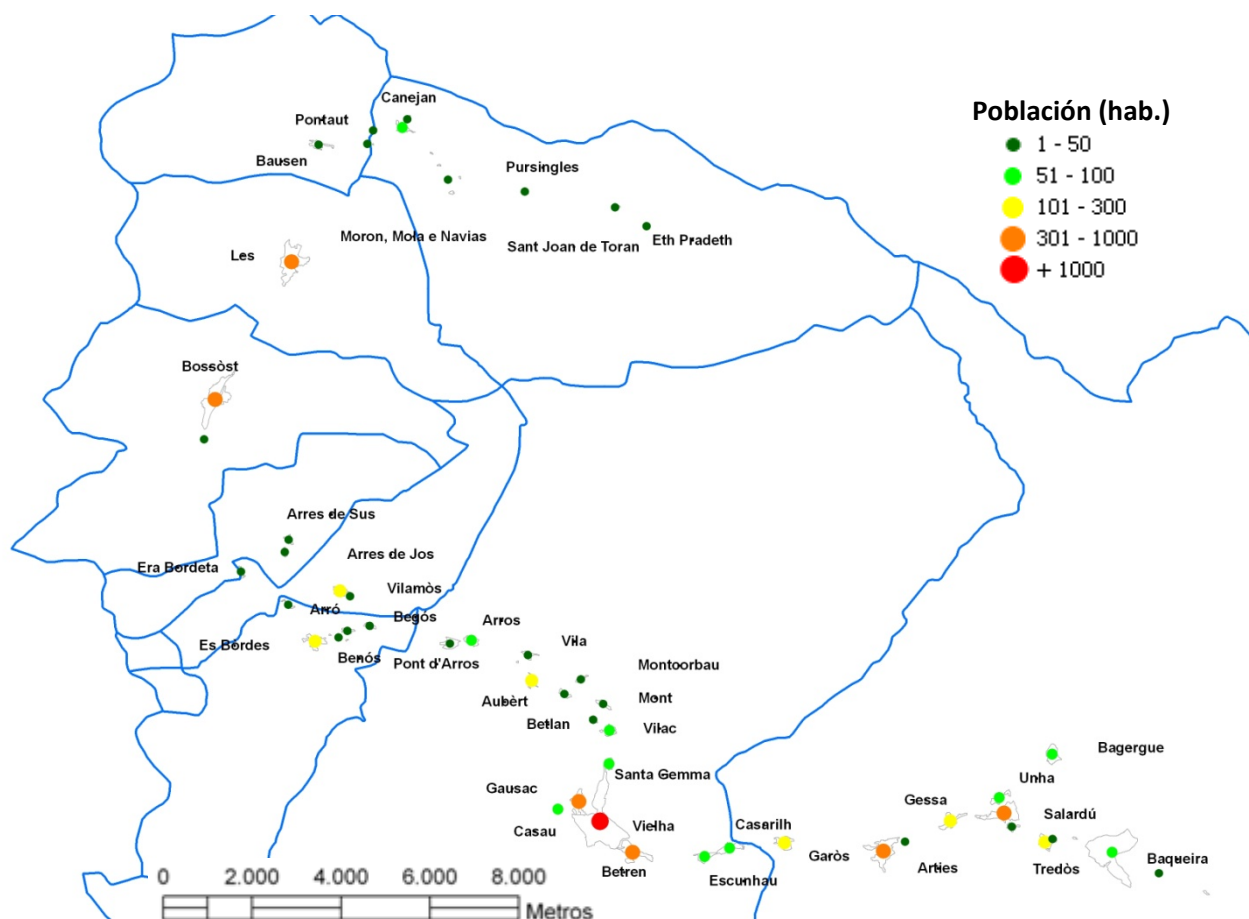


Figura 11. Distribución de la población permanente para los núcleos de la Val d'Aran.

En relación a lo anterior, una característica significativa para los estudios de riesgo, es la densidad de población. Ésta se ha calculado en base al número de habitantes y al área edificada de cada unidad de estudio. La densidad de población más elevada se alcanza en el núcleo de *Gausac*, con 7.576 habitantes/km², mientras que la más baja se localiza en el núcleo de *Tredòs* con 63 habitantes/km².

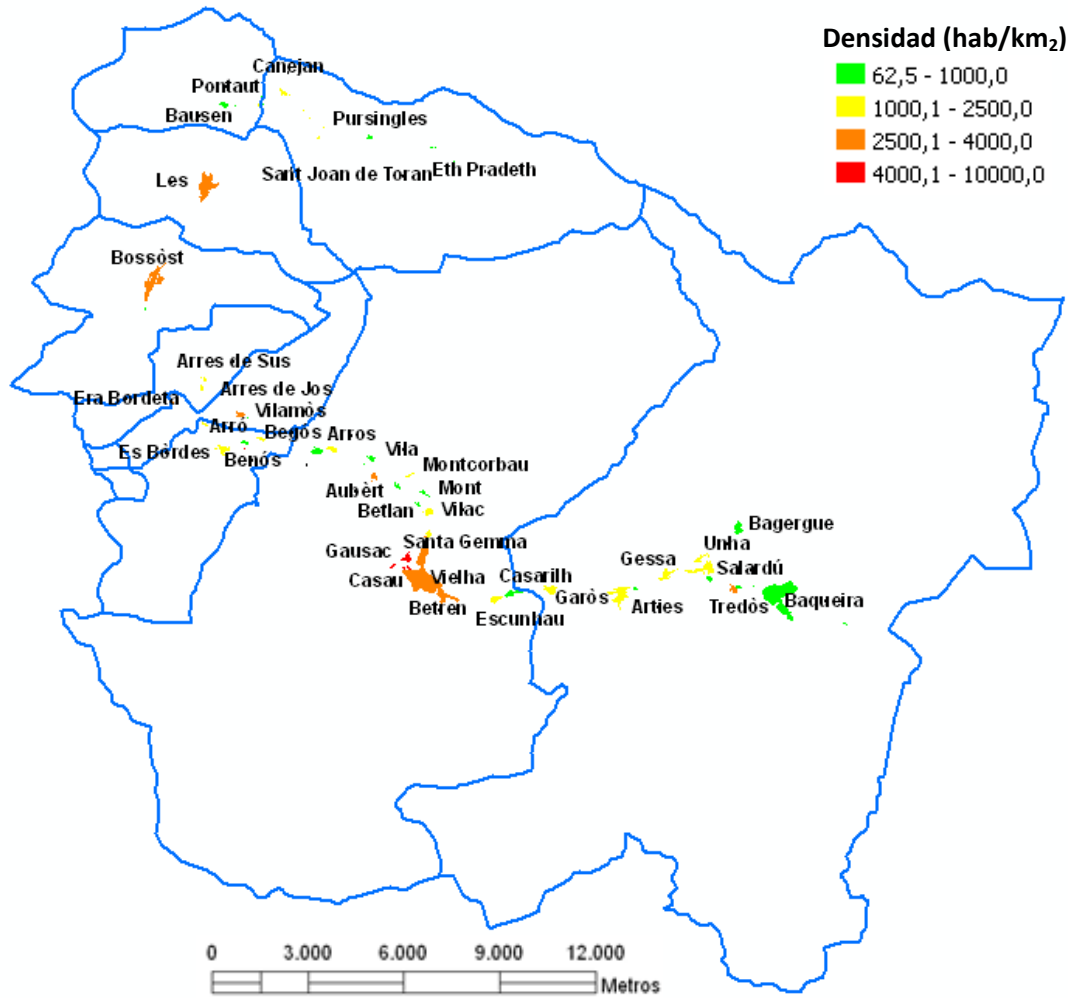


Figura 12. Densidad de población de los núcleos de la comarca.

A continuación, a modo de resumen, se adjunta la Tabla 12, en la que se puede observar la población de cada municipio para los años 2001 y 2009.

Municipio	Población 2001	Población 2009
Arres	58	68
Bausen	53	63
Es Bòrdes	208	238
Bossòst	959	1.219
Canejan	110	104
Les	691	979
Naut Aran	1.442	1.740
Vielha-Mijaran	4.029	5.710
Vilamòs	139	174

Tabla 12. Población de los municipios de la Val d'Aran en los años 2001 y 2009 (Idescat).

En la tabla anterior se observa que, en general, los municipios y, por tanto, sus núcleos crecen; a excepción del municipio de *Canejan*. Esta tendencia se mantiene así ya desde 1991, donde en el periodo 1991 – 2001 se contabilizó un aumento del 23,4 % de la población, especialmente en el municipio de *Naut Aran*, el más próximo a la estación de esquí de *Baqueira-Beret*.

3.1.5.2. Población estacional

La Val d'Aran posee dos peculiaridades en referencia al flujo de población. Por una parte, su condición fronteriza y la diferencia de precios entre España y Francia hace que los franceses visiten la comarca en busca de los productos con más diferencia de precio: tabaco, bebidas alcohólicas y carburantes. Por otra parte, al ser una comarca destinada al turismo invernal se recibe, en esta temporada, una gran cantidad de turistas.

De la segunda peculiaridad se deriva no solo un flujo estacional, sino también una amplia actividad económica derivada de la construcción y una gran oferta hostelera. La construcción se basa en la proliferación de segundas residencias en los núcleos que se sitúan entorno las pistas de esquí. La oferta hostelera se caracteriza, por una parte, por la gran dimensión de la misma y, por otra, por la gran cantidad de plazas hoteleras de lujo, que responden al tipo de turismo que recibe la comarca, en general de alto poder adquisitivo.

Municipios	Población permanente		Población estacional				Ocupación potencial	
	Hab.	%	2º residen.	%	Plaza hotel.	%	Hab.	%
Arres	67	82,7	8	9,9	6	7,4	81	100,0
Bausen	51	83,6	10	16,4	0	0,0	61	100,0
Es Bòrdes	217	62,9	128	37,1	0	0,0	345	100,0
Bossòst	1.015	61,1	403	24,3	243	14,6	1.661	100,0
Canejan	108	43,0	143	57,0	0	0,0	251	100,0
Les	721	57,3	318	25,2	220	17,5	1.259	100,0
Naut Aran	1.649	16,3	6.670	65,7	1.825	18,0	10.144	100,0
Vielha-Mijaran	4.838	39,9	4.782	39,4	2.505	20,7	12.125	100,0
Vilamòs	166	54,6	108	35,5	30	9,9	304	100,0
TOTAL	8.832	33,7	12.570	47,9	4.829	18,4	26.231	100,0

Tabla 13. Población permanente y estacional, en número de habitantes y porcentaje, para cada municipio (PDEM).

En relación a los datos expuestos en la Tabla 13, cabe destacar la alta proporción de segundas residencias en relación al total y especialmente para el caso del municipio de *Naut Aran*, dónde la población permanente supone solo un 16,3 % de la población potencial máxima.

En total, la población en segundas residencias supera a la población permanente (47,9 % frente a un 33,7 %, respectivamente); mientras el porcentaje de plazas hoteleras queda reducido a un simple 18,4 %. Considerando únicamente la población estacional, las plazas hoteleras representan un 28 % frente al 72 % de segundas residencias. En resumen, el parque de edificios de la Val d'Aran tiene una capacidad que prácticamente triplica las necesidades de los 8.832 habitantes.

3.2. Caracterización de los edificios.

El método de índice de vulnerabilidad requiere, para su aplicación, una gran cantidad de información referente a la edificación. Así por ejemplo, es necesario obtener información sobre las tipologías constructivas representativas y sobre la distribución de estas tipologías en

función del número de plantas, el año de construcción y la localización en el territorio, concretamente, en base a las unidades de estudio definidas.

En general, este tipo de información está disponible en la Dirección General de Catastro y el instituto de Estadística de Catalunya (Idescat). En el caso de la *Val d'Aran*, esta información se ha obtenido de la ambos organismos. Sin embargo, para identificar las tipologías constructivas existentes en la zona, ha sido necesario recurrir a la opinión de constructores y arquitectos de la zona, de expertos en ingeniería sísmica y de visitas técnicas de campo.

3.2.1. Tipología de edificios

La metodología basada en la aplicación de índices de vulnerabilidad precisa, como se ha comentado en el capítulo de conceptos y metodología, información sobre las tipologías constructivas presentes en la comarca. Esta información no se encuentra especificada en el plan director urbanístico de la comarca, ni en los diferentes planes o normas subsidiarias de los municipios. Por ello, para obtener la información se han realizado consultas a diversos arquitectos y constructores de la zona; así como visitas de campo que a su vez han ayudado al desarrollo de la distribución de cada tipología constructiva.

Así pues, en la zona de estudio se han identificado cinco tipologías estructurales representativas clasificadas en base a las tipologías constructivas fijadas en el proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003). Entre las tipologías presentes en la comarca hay tres de estructura de mampostería, una de estructura de hormigón armado y una de estructura metálica.

Tipología propia	Material principal	Tipología RISK-UE	Descripción
T1	Piedra	M1.2	Muros de carga de piedra, y forjados de madera. Casa tradicional.
T2	Ladrillos o bloques de hormigón	M3.3	Muros de carga sin reforzar con forjado de viguetas y bovedilla.
T3		M3.4	Muros de carga sin reforzar con forjado de hormigón.
T4	Hormigón	RC3.2	Pórticos de hormigón armado con muros en mampostería no reforzada.
T6	Acero	S3	Estructura de acero con mampostería sin reforzar.

Tabla 14. *Tipologías constructivas presentes en la Val d'Aran.*

La Tabla 14, muestra la matriz de tipologías de edificios de la zona de estudio, identificadas según la nomenclatura del proyecto SisPyr (2010), con una breve descripción de las mismas, el material principal y la correspondencia con las tipologías del proyecto Risk-UE (2003), que será necesario para poder asignar el índice de vulnerabilidad básico a cada una. En el proyecto SisPyr (2010) se definen siete tipologías estructurales, de las cuales solo las cinco expuestas en la tabla se pueden localizar en la *Val d'Aran*, mientras las dos restantes (T5 y T7) son tipologías estructurales características de la zona francesa.

A continuación se adjunta, para cada una de las tipologías constructivas de la comarca, una explicación más detallada de las mismas y cada una de ellas acompañada por una fotografía que la ejemplifica.

T1. Muros de carga de piedra, forjado de madera. Casa tradicional.

Esta tipología es la construcción tradicional de la zona norte de los *Pirineus*, en la *Val d'Aran* y los alrededores de *Bagnères de Luchon* y *Saint Beat*. Típicamente los edificios pertenecientes a esta tipología se caracterizan por ser dos plantas más el bajo cubierta, que en la gran mayoría de los casos es habitable.

Los muros portantes son de piedra ligada con mortero de baja calidad; mientras, las esquinas están, generalmente, formadas con piedras de mejor calidad, que se colocan de manera trabada. El forjado de esta tipología y la estructura de la cubierta son de madera.



Figura 13. Ejemplo de edificación de la tipología T1.

Es necesario remarcar que muchas de estas construcciones han estado reformadas. El tipo de intervención, las técnicas y los materiales empleados en estas modificaciones son diversos. Las intervenciones más comunes en muros de carga de piedra es el refuerzo con hormigón o acero, convirtiendo los muros en un elemento ornamental. Sin embargo, es común mantener el forjado de madera original.

Desde el punto de vista de resistencia sísmica, el impacto de estas intervenciones es dudoso debido a la imposibilidad de detectar las edificaciones modificadas en el tratamiento estadístico que se realiza de los datos. Es por ello, que se consideraran estas constructivas como si no se hubiesen realizado intervenciones.

T2. Muros de carga sin reforzar con forjado de viguetas y bovedillas

A partir de los años cincuenta y especialmente en el caso de la edificación unifamiliar destaca la presente tipología. Esta sigue, habitualmente, los estándares de la casa tradicional; edificaciones de planta baja más bajo cubierta o dos plantas más bajo cubierta.

Por un lado los muros portantes son de ladrillos de arcilla o bloques de hormigón sin refuerzo en las esquinas o aberturas. Por otro lado, los forjados son de viguetas y bovedillas de hormigón.



Figura 14. Ejemplo de edificación de la tipología T2

T3. Muros de carga sin reforzar con forjado de hormigón

Esta tipología es muy similar a la tipología T2, difiriendo de la anterior en el forjado que en este caso está formado por una solera de hormigón; así el forjado de la tipología T3 aporta más rigidez en la construcción.



Figura 15. Ejemplo de edificación de la tipología T3.

A simple vista, es difícil diferenciar esta tipología de la tipología anterior, ya que el factor distintivo es un elemento interior. No obstante, a partir de la información obtenida de las entrevistas con los especialistas de la zona se sabe que son unas construcciones minoritarias en comparación a la tipología T2.

T4. Pórticos de hormigón armado con muros en mampostería no reforzada

En general, las edificaciones multifamiliares y una gran parte de la unifamiliares recientes se engloban en esta técnica constructiva, especialmente, a partir del desarrollo urbanístico de la *Val d'Aran* debido a la apertura de las pistas de esquí de *Baqueira-Beret*.

Esta tipología se caracteriza por: forjados de hormigón unidireccional, prácticamente, en el 90 % de los casos; y numerosas irregularidades en la planta (transparencia de la planta baja, asimetrías, ...) que implican un comportamiento pobre en el sistema frente a las cargas laterales.



Figura 16. Ejemplo de edificación de la tipología T4.

T6. Estructura en acero con mampostería no reforzada.

Esta técnica constructiva no es mayoritaria en la comarca; no obstante, alrededor de las pistas de esquí y en los núcleos urbanos más amplios, los grandes bloques de pisos pertenecen a esta tipología.

Las paredes de relleno de los elementos de la estructura exterior están formadas por ladrillos o bloques de hormigón sin reforzar. No obstante, proporcionan rigidez y resistencia de carga lateral a la estructura.



Figura 17. Ejemplo de edificación de la tipología T6.

3.2.2. Análisis de los edificios

Como se ha comentado anteriormente, la aplicación del método del Índice de Vulnerabilidad requiere tener información sobre cuál es la distribución de los edificios en función de la tipología, la altura y la edad de los mismos preferiblemente en cada unidad de estudio por separado. Esta información permitirá asignar un índice de vulnerabilidad medio a cada unidad de estudio.

3.2.2.1. Digitalización de las unidades de estudio

La información necesaria sobre el parque de edificios se ha obtenido del Institut d'Estadística de Catalunya (Idescat). Esta información, como se ha comentado durante la descripción de la población, hace referencia al parque de edificios censados en el 2001. En el citado censo se facilitan para cada municipio el número de edificios en función de los parámetros altura y año de construcción; y para cada entidad local (núcleo y diseminado por separado) solo se da el número de edificios total presente en cada una de ellas.

En consecuencia a lo expuesto en los párrafos precedente, es necesario definir la unidad de estudio del presente trabajo, previamente a realizar un análisis de la información del parque de edificios. En este sentido, las unidades de estudio empleadas en el presente trabajo se han definido en base a la división administrativa municipal. Concretamente, se han considerando como unidad cada uno de los núcleos o diseminados que se detallan en la Tabla 11. Para ello, a partir de las herramientas del SIG se han digitalizado los polígonos correspondientes a cada unidad de estudio en base a la información de referencia (ortofotos y bases topográficas) de la Dirección General del Catastro y del Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).



Figura 18. Ejemplo de digitalización de las unidades de estudio en base a ortofotos (Casau y Vilac).

El proceso de digitalización, realizado en colaboración con el Institut Geogràfic de Catalunya (IGC), define 50 unidades o polígonos de estudio. Teniendo en cuenta la información facilitada por el INE (ver Tabla 11), existe una discordancia entre el número de unidades de estudio, ya que según esta información deberían definirse 53 polígonos. La simplificación en las unidades de estudio está motivada por el hecho de que dos de las unidades que se proponían son antiguos núcleos que en la actualidad están despoblados (02-Espitau de 00-11-Vielha y diseminado de 00-09-Montgarri); y por el hecho que el diseminado de 00-05-Casariilh se engloba en el núcleo de 01-Casariilh.

3.2.2.2. Distribución según periodos constructivos

Una vez definida la unidad básica de estudio se puede profundizar en el análisis de la información sobre el parque de edificios. No obstante, ésta viene detallada a nivel de municipio en lugar de a nivel de polígono. (ver Anejo I). Este hecho motiva la necesidad de consultar a expertos de la zona y realizar visitas de campo, con el objetivo de distribuir la información municipal en las unidades de estudio.

En referencia a la información sobre el año de construcción, la información obtenida del censo distingue nueve periodos:

- Anterior a 1900
- Entre 1900 y 1920
- Entre 1921 y 1940
- Entre 1941 y 1950
- Entre 1951 y 1960
- Entre 1961 y 1970
- Entre 1971 y 1980
- Entre 1981 y 1990
- Entre 1991 y 2001

No obstante, teniendo en cuenta las características físicas y económicas de la comarca y las tipologías estructurales presentes, se ha considerado que para la realización del método es suficiente discernir entre tres periodos:

- Periodo 1: Anterior a 1950
- Periodo 2: Entre 1950 y 1970
- Periodo 3: Entre 1971 y 2001

Estos periodos corresponden a momentos clave en la historia de la *Val d'Aran* que, a su vez, han supuesto cambios constructivos. En primer lugar al periodo anterior a la llegada de las centrales hidroeléctricas y a la construcción del túnel de *Vielha*; en segundo lugar, a un periodo intermedio en que se dispone de nuevos materiales (cemento, hormigón...); y por último el periodo posterior a la obertura de la estación de esquí de *Baqueira Beret*.

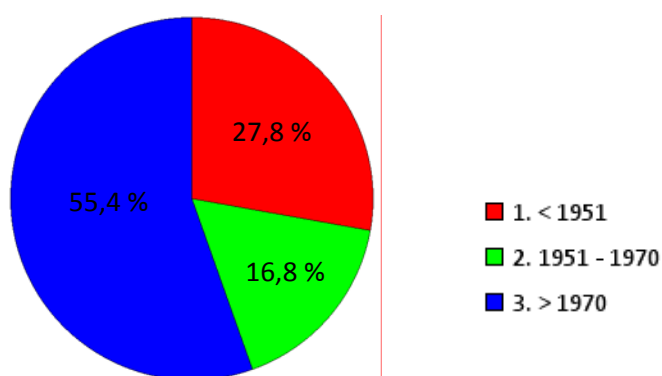


Figura 19. Diagrama de sectores con la proporción de edificios construidos respecto del total (2.859 edificios), durante cada periodo.

Considerando el año de construcción, el parque de edificios de la comarca aranesa se caracteriza, como se puede ver en la distribución de la Figura 19, por un alto número de

viviendas pertenecientes al último periodo. Si se observa la distribución temporal particularizada por municipios (ver Anejo I), se puede observar que son los municipios de *Vielha-Mijaran* y el de *Naut Aran* los que propician que en niveles generales sea el periodo 3 el más representativo. No obstante, en la comarca también se pueden encontrar municipios donde sean el periodo 1 o 2 los de mayor influencia, como por ejemplo *Les* y *Bossòst* respectivamente.

3.2.2.3. Distribución según tipología estructural

La información de la distribución de edificios en función de su tipología no se detalla en el censo. No obstante, a partir de la opinión expertos de la comarca y del trabajo de campo realizado se puede obtener esta información. Así, en la Figura 20 se puede observar cual es la distribución estimada en la comarca de las cinco tipologías identificadas.

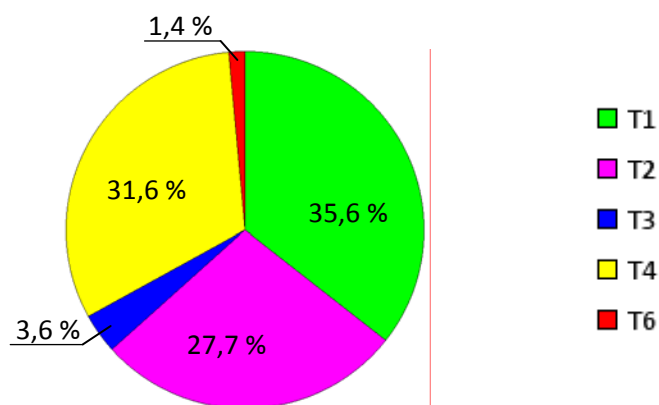


Figura 20. Diagrama de sectores con la proporción de edificios construidos de cada tipología (T1, T2 y T3 son estructuras de mampostería, T4 de hormigón y T6 metálicas, ver Tabla 14).

De la figura anterior se desprende que las tipologías mayoritarias en la zona son la T1, la T2 y la T4, mientras las tipologías T3 y T5 representan solo un 5 % del total. Si consideramos estos datos conjuntamente con la distribución en función de la edad y con la definición de las propias tipologías, se puede asociar a cada uno de los periodos una tipología representativa.

Así pues, en el periodo anterior a los años cincuenta (periodo 1) la construcción se basa únicamente en la tipología de mampostería de piedra y forjados de madera, T1. En el periodo comprendido entre los años cincuenta y setenta (periodo 2), la construcción es una combinación de la tipología anterior, T1 y la tipología de mampostería con forjados de viguetas y bovedilla, T2; donde esta última tiene más representación. Y en el caso del periodo posterior a los setenta (periodo 3), los edificios presentan cualquiera de las tipologías presentes; sin embargo, la tipología más empleada es la de estructura de hormigón, T4, seguidamente de la estructura de mampostería con forjados de viguetas y bovedilla, T2 y mientras la estructura metálica, T6, la estructura de mampostería con forjados de hormigón, T3 y la estructura de mampostería de piedra y forjados de madera, T1 son casos específicos y/o aislados, quedando la última de ellas (T1) prácticamente en desuso. Este último periodo presenta esta amplia variedad de tipologías, en parte por la difusión para el uso cotidiano de nuevos materiales (cemento, hormigón,...) que no fueron conocidos en la comarca hasta la construcción de las centrales hidroeléctricas y el túnel de *Vielha*.

3.2.2.4. Distribución según número de plantas

Desde el punto de vista de la altura de los edificios, el censo especifica el número de edificios de cada planta para cada municipio. Sin embargo, debido a las similitudes de comportamiento frente a un seísmo, se pueden agrupar en construcciones bajas, medias o altas. El intervalo de plantas que engloba cada una de las tres categorías anteriores depende de si la estructura es de mampostería, hormigón o acero. Así en la Tabla 15 se especifican los intervalos para cada tipología.

Estructura	Tipología	Bajas	Medias	Altas
Mampostería	T1	1 - 2	3 - 5	> 5
	T2			
	T3			
Hormigón armado	T4	1 - 3	4 - 7	> 7
Acero	T6	1 - 3	4 - 7	> 7

Tabla 15. Intervalos de altura para cada tipología.

En referencia a la altura para poder comparar de manera general, sin tener que distinguir la estructura, se han considerado cinco intervalos: 1 - 2 (bajos), 3 (bajo o medio), 4 - 5 (medios), 6 - 7 (medios o altos) y superior a 8 (altos). La Figura 21 representa la distribución de edificios en función de la altura de los mismos. En este sentido la Val d'Aran se caracteriza por edificaciones bajas con un 56,9 % de 1 o 2 plantas frente a un 0,3 % de construcciones de 8 plantas o superior.

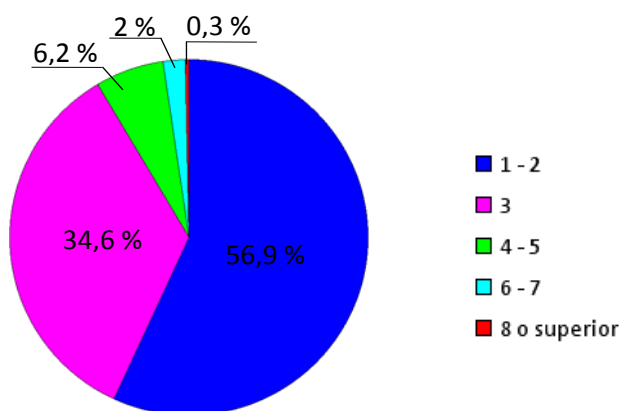


Figura 21. Diagrama de sectores con la proporción de edificios construidos respecto del total (2.859 edificios), en función del número de plantas.

Análogamente al análisis del año de construcción, si se observa la distribución particularizada por municipios se puede observar que los edificios de mayor altura se localizan en los municipios de Naut Aran y Vielha-Mijaran, (ver Anejo I). En el caso de edificios medios también, se pueden encontrar en los municipios de Bossòst y Les. Sin embargo el resto de municipios solo presentan edificaciones de cómo máximo tres plantas.

En base a los análisis de la información según el año de construcción y el número de plantas se observa que la distribución de edificios entre municipios no es homogénea. Por ello, para la realización de la distribución en función de las unidades de estudio se han realizado visitas de campo y se ha tenido en cuenta la opinión de expertos de la zona. A partir de este trabajo de campo se ha concretado la distribución de cada unidad de estudio, observando que las

pertenecientes en el mismo municipio siguen criterios muy similares a excepción de los núcleos concretos de *Vielha* y *Baqueira* en los municipios de *Vielha-Mijaran* y *Naut Aran* respectivamente.

La Tabla 16 muestra dos ejemplos de distribución de tipologías estimada según el año de construcción y la altura de los edificios para los polígono de los núcleos de *Vielha* y *Vila*.

Vielha					Vila						
ALTURA	TIPOLOGIA	<1950	1950-1970	>1970	ALTURA	TIPOLOGIA	<1950	1950-1970	>1970		
BAJOS	1 a 2	T1	6,791	0,468	3,044	BAJOS	1 a 2	T1	33,33	6,67	
		T2		1,405	10,77283			T2		13,33	13,33
		T3			3,044			T3			
	1 a 3	T4			25,29274		1 a 3	T4			33,33
		T6						T6			
MEDIOS	3 a 5	T1	10,538	3,981		MEDIOS	3 a 5	T1			
		T2		9,133	3,74707			T2			
		T3			0,702			T3			
	4 a 7	T4			12,17798		4 a 7	T4			
		T6			6,79			T6			
ALTOS	>=6	T1				ALTOS	>=6	T1			
		T2		1,639				T2			
		T3						T3			
	>=8	T4					>=8	T4			
		T6			0,468			T6			
%		17,33	16,63	66,04	%		33,33	20,00	46,67		

Tabla 16. Distribución de tipologías estimada en función del periodo y la altura de los edificios para los núcleos de *Vielha* y *Vila*.

3.2.3. Vulnerabilidad

Una vez definida la distribución de tipologías, se puede obtener el índice de vulnerabilidad medio de cada polígono o unidad de estudio. Para ello es necesario, anteriormente, asociar a cada tipología su índice de vulnerabilidad básico y modificar este según las características específicas de las edificaciones aranesas, obteniendo así el índice de vulnerabilidad característico.

3.2.3.1. Índice de Vulnerabilidad

El método del índice de vulnerabilidad, como se ha mencionado en párrafos anteriores, se basa en una correlación estadística entre la intensidad macrosísmica, el daño observado en terremotos pasados y el hecho que ciertas clases estructurales tienden a experimentar daños similares cuando son afectados por un terremoto.

Los índices básicos empleados en el trabajo se basan, como se ha comentado con anterioridad, en las directrices del proyecto Risk-UE (2003). En concreto, los índices de vulnerabilidad para las tipologías existentes en la comarca son los que se especifican en la Tabla 17.

Tipología	Valores representativos VI				
	$V_{I,BTM}^{\min}$	$V_{I,BTM}$	$V_{I,BTM}^*$	$V_{I,BTM}^+$	$V_{I,BTM}^{\max}$
T1	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
T2	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
T3	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
T4	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
T6	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86

Tabla 17. Índices de vulnerabilidad básicos, según Risk-UE (2003), de las tipologías presentes en la comarca de la Val d'Aran.

3.2.3.2. Modificadores

La metodología aplicada permite modificar el índice de vulnerabilidad en función de las características de los edificios a los que se aplica. Estos modificadores aumentan o disminuyen el índice de vulnerabilidad según las características de los edificios empeoran o mejoran su respuesta sísmica.

En este sentido, el parque de edificios de la comarca no se adecua, en general, al índice básico de vulnerabilidad. En consecuencia, es necesario aplicar modificadores de comportamiento. Anteriormente, ya se ha comentado que modificadores se consideran en el presente estudio (número de plantas, estado de conservación, sistema estructural y cubierta).

- **Número de plantas:** La corrección a partir del número de plantas se diferencia según si las tipologías son de mampostería (T1, T2 y T3) o hormigón (T4).

Tipología	Parametros	Puntuación
Mampostería	Bajo(1 - 2)	-0.02
	Medio (3 - 5)	+0.02
	Alto (+ 6)	+0.06
Hormigón	Bajo (1 - 2)	-0,04
	Medio (3 - 5)	0,00
	Alto (+ 6)	+0,08

Tabla 18. Modificadores aplicados en función de la altura del edificio.

A los edificios con tipología metálica (T6) se les aplicará los modificadores correspondientes a los edificios de hormigón.

- **Estado de conservación:** El Instituto de Estadística de Catalunya (Idescat) dispone de información en relación al estado de conservación del parque de edificios. En función de esta información y teniendo en consideración cuales son las directrices que se proponen en el proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) se han fijado unos valores del modificador que se presentan en la Tabla 19.

Parámetros	Puntuación
Mal estado	+0,04
Estado deficiente	+0,02
Buen estado	+0,00

Tabla 19. Modificadores aplicados en función del estado de conservación del edificio.

La información facilitada por el Idescat engloba el parque de edificios en cuatro estados de conservación: ruinoso, malo, deficiente y bueno. No obstante, como se puede observa en la Tabla 19, se ha realizado una simplificación a tres estados de conservación; donde los estados ruinoso y malo se engloban en un mismo grupo (mal estado).

Este modificador se aplica en cuatro de los nueve municipios de la comarca, debido al alto porcentaje de edificios que tienen en mal estado y estado deficiente, concretamente en: *Canejan, Arres, Vilamòs y Les*.

- **Sistema estructural (structural system):** A partir de los datos de los arquitectos de la zona y de la opinión experta se determina que el modificador estructural es necesario para la adaptación de los índices de vulnerabilidad de las tipologías T1 y T2.

Estas tipologías, por un lado, presentan un grosor de los muros de piedra considerable y no están separados en exceso; pero por otro lado, pertenecen a épocas muy antiguas donde no se realizaban buenas conexiones horizontales. Consecuentemente, los edificios de mampostería antiguos serán penalizados con un valor de +0,02.

- **Cubierta (Roof):** En base a la información de los arquitectos y constructores de la zona y la opinión experta, las cubiertas construidas con madera son ligeras y no provocan fuerzas laterales en los muros. No obstante, en la casa tradicional (T1), el sistema de conexión es deficiente ya que la cubierta simplemente se apoyada sobre los muros. Esto puede provocar que los muros se separaren y la cubierta caiga, al no tener elementos horizontales rígidos que mejoren el comportamiento frente al sismo. Por ello, a los edificios pertenecientes a la tipología T1 se les aplicará un modificador de +0.02.

3.2.4. Edificios singulares

El trabajo realizado se ha centrado en la identificación de las tipologías estructurales y, su posterior análisis, para edificaciones residenciales. Sin embargo, se ha elaborado también, de una forma más detallada, una base de datos que identifica la tipología y otros aspectos relacionados con la vulnerabilidad de los edificios denominados singulares.

Se consideran edificios singulares todas aquellas edificaciones que puedan representar o suponer un servicio básico para la población en caso de terremoto; por ejemplo, los parques de bomberos, las comisarías de policía, u hospitales entre otros. También, se consideran edificios singulares aquellos que puedan albergar en su interior un número elevado de personas (escuelas, grandes centros comerciales, ...) o aquellos que en caso de un terremoto puedan emplearse como centros de organización y coordinación de funciones, y de atención a los ciudadanos, como es el caso de los ayuntamientos y polideportivos.

Edif	Institución	Edad		Tipología estructural				Detalles estructurales					Daño previo		Reforma estruc.	
		Año construc.	Periodo construc.	Plantas sobre rasante	Sistema resistente a cargas	Forjado	Tipología estructural	Irreg. en planta	Irreg. en altura	Pilar corto	Pos. de golpeteo	Muros excesivas aberturas	Asent. dif.	Fisuras elem. estruc.	Para reparar edif.	Para distribuir espacios
1	Conselh Generau D'Aran (Vielha)	S/N	<1962	3	Muros de mampostería	Hormigón armado	M3.4	Baja	Baja	N/A	Si	No	No	No	No	Si
1_1	Conselh Generau D'Aran (Vielha)	S/N	1975-1994	4	Muros de mampostería	Hormigón armado	M3.4	Baja	Baja	N/A	Si	No	No	No	No	No
2_1	Espitau Val d'Aran	1985	1975-1994	2	Pilares y forjados de hormigón	Hormigón armado	RC3.2	Mediana	Baja	No	No	N/A	No	No	No	No
2_2	Espitau Val d'Aran (residencia)	S/N	<1962	3	Muros de mampostería	Hormigón armado	M3.4	Alta	Baja	N/A	Si	No	No	No	No	Si
2_3	Espitau Val d'Aran (ampliación)	2006	>2002	3	Muros	Hormigón armado		Baja	Baja	No	Si	No	No	No	No	No
3	Parc de Bombers Voluntaris de Vielha	1987	1975-1994	4	Pilares de hormigón armado y forjados	Mampostería y vigas de horm. armado	RC3.2	Mediana	Mediana	No	No	N/A	No	No	No	No
4	Mossos d'Esquadra	1999	1995-2002	3	Pilares y forjados de hormigón armado	Hormigón armado	RC3.2	Baja	Mediana	Si	No	N/A	No	No	No	No
5	Guardia Civil	S/N	S/N	4	Muros de mampostería		M3.4	Mediana	Baja	N/A	No	No	No	No	No	No
6	Ajuntament de Bossòst y EEI (mismo edificio)	S/N	<1962	4	Muros de piedra		M1.2	Baja	Baja	N/A	No		No	No	No	Si
8	Polideportivo Bossòst	1985	1975-1994	1	Columnas y cerchas metálicas	Techos en aluminio	S3	Baja	Baja	No	No	N/A	No	No	Si	No
9_1	CEIP Estudi Alejandro Casona	1920	<1962	2	Muros de mampostería	Hormigón armado	M3.4	Mediana	Baja	N/A	No	No	No	No	No	Si
9_2	CEIP Estudi Alejandro Casona	S/N	>2002	1	Muros de mampostería	Techo de madera		Baja	Baja	N/A	No	No	No	No	No	No
10	Polideportivo Les	S/N	1975-1994	1	Cerchas	Madera	W	Baja	Baja	N/A	Si	N/A	No	No	No	No
11_1	Parc de Bombers Voluntaris de Bossòst	S/N	<1962	3	Muros de mampostería	Mampostería y vigas metálicas	M3.3	Mediana	Mediana	No (N/A)	Si	No	No	No	No	Si
11_2	Parc de Bombers Voluntaris de Bossòst	S/N	1995-2002	1	Muros de mampostería	Madera	M3.1	Baja	Baja	No	Si	No	No	Si	No	No
12	Supermercado Boya	2001	1995-2002	1	Mixta de acero y mampostería	Hormigón armado - Cercha metálica	S5	Baja	Baja	No	No	No	No	No	No	No
13	Supermercado Caprabo	1995	1995-2003	1	Mixta de acero y mampostería	Hormigón armado - Cercha metálica	S5	Baja	Baja	No	No	No	No	No	No	No

Edif	Institución	Edad		Tipología estructural				Detalles estructurales					Daño previo		Reforma estruc.	
		Año construc.	Periodo construc.	Plantas sobre rasante	Sistema resistente a cargas	Forjado	Tipología estructural	Irreg. en planta	Irreg. en altura	Pilar corto	Pos. de golpeo	Muros excesivas aberturas	Asent. dif.	Fisuras elem. estruc.	Para reparar edif.	Para distribuir espacios
14	Ajuntament de Vielha e Mijaran	1829	<1962	3	Muros de piedra	S/N	M1.2	Mediana	Mediana	N/A	No	No	No	No	No	Si
15	CEIP Garona (nou)	S/N	>2002	3	Pilares y forjados de hormigón armado	Reticular - Hormigón armado	RC3.2	Alta	Alta	No	No	No	No	No	No	Si
17	Polideportivo - Vielha	2008-2009	>2002	1	Columnas y cerchas metálicas	Hormigón armado - Cercha metálica	S4	Baja	Baja	No	No	N/A	No	No	No	No
18	Antiguo polideportivo - Vielha	1980	1975-1994	1	Columnas y cerchas metálicas	Cercha metálica y tejado en aluminio	S3	Baja	Baja	No	No	N/A	No	No	No	No
19	Parc de Bombers Voluntaris de Les	1900	<1962	3	Muros de piedra	Madera y mampostería	M1.2	Mediana	Baja	N/A	No	No	No	No	Si	Si
20	Policia Nacional	S/N	<1962	3	Muros de mampostería	S/N	M3.3	Mediana	Baja	N/A	No	No	No	No	No	Si
22	Ajuntament de Naut Aran	1920-1923	<1962	3	Muros de piedra	S/N	M1.2	Baja	Mediana	N/A	Si	No	No	No	No	Si
23	CEIP de Salardú	1945	<1962	2	Muros de piedra	Madera	M1.2	Baja	Mediana	N/A	No	No	No	Si	No	No
24	Polideportivo Salardú	S/N	1975-1994	1	Pilares y cercas metálicas	Cercha metálica y tejado en aluminio	S3	Mediana	Baja	No	No	N/A	No	No	No	No
25	Albergue (escola tècnics)	S/N	1975-1995	5	Pilares y forjados de hormigón armado	Hormigón armado	RC3.2	Alta	Alta	No	No	N/A	No	Si	No	Si
26	CEIP Loseron	S/N	<1962	2	Muros piedra, con pilares metálicos	Hormigón armado	M3.4 - M5	Mediana	Baja	N/A	No	No	No	Si	No	Si
27	CEIP Sant Martí	S/N	<1962	2	Muros de mampostería	Mampostería	M3.3	Baja	Baja	N/A	No	No	No	Si	No	No
28	CEIP Eth Roser	S/N	<1962	3	Muros de piedra	S/N	M1.2	Mediana	Alta	N/A	No	No	No	Si	No	No
29	CEIP Casteth Leon	1930	<1962	2	Muros de piedra	Mixto acero y mampostería	M1.2	Mediana	Baja	N/A	No	No	No	No	No	Si
30	Arxiu històric Aran (any 1820)	1820	<1963	4	Muros de piedra	S/N	M1.2	Alta	Mediana	N/A	No	No	No	No	S/N	S/N
31	EEl Municipal (guarderia)	S/N	S/N	1	Muros de hormigón	Techos en madera y vigas metálicas	RC5	Baja	Baja	N/A	No	No	No	No	No	No
32	Palau de gel	1994	1995-2002	3	Pilar, forjados horm. armado; pilar, cercha metálicas		RC 3.2 S3	Baja	Alta	No	No	N/A	No	No	No	Si

Tabla 20. Información recopilada de los edificios singulares (resultado del trabajo de campo realizado en Agosto de 2010 dentro del Proyecto Sispyr).

La Tabla 20 presenta la información recopilada en el trabajo de campo realizado, a partir de la cual sería posible efectuar un estudio específico de este tipo de edificios. No obstante, cabe comentar que en la tabla faltan los edificios con los números 7, 16 y 21 que corresponden respectivamente al CEIP Sant Ròc, al IES d'Aran y al IES Osteleria de Les. Este hecho se debe a que no se pudo realizar la visita al edificio, o bien, por estar en obras y no permitirse su visita, o bien, por no poder localizar al encargado en el periodo en que se realizó la visita (agosto de 2010).

A modo de ejemplo la Figura 22 muestra la localización de los edificios singulares del núcleo de Vielha clasificados según su función.

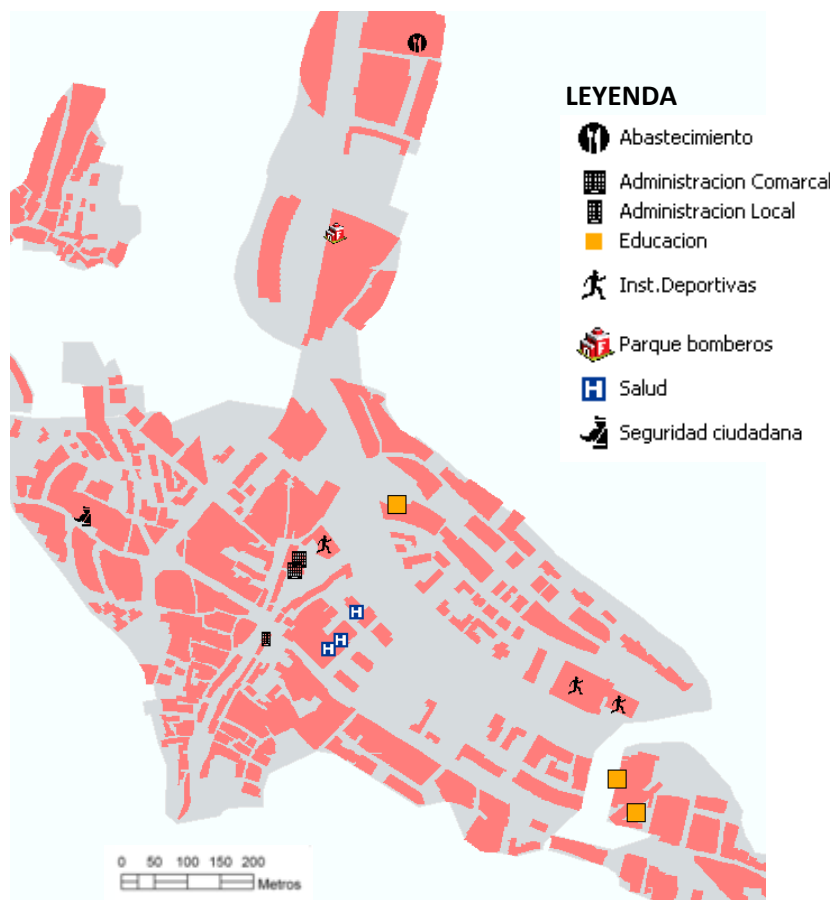


Figura 22. Localización de los edificios singulares en el núcleo de Vielha.

4. RESULTADOS

4.1.Introducción

En este capítulo se presentan unos resultados básicos de riesgo sísmico, concretamente, La vulnerabilidad y el daño físico. Por un lado, se muestran los resultados obtenidos para las unidades de estudio; por otro lado, los resultados obtenidos a nivel de edificio para el núcleo de *Gausac*; y finalmente, los resultados obtenidos para los edificios singulares.

La elaboración de estos resultados es de gran utilidad. Por una parte, antes del seísmo permite desarrollar un conjunto de medidas o actuaciones de prevención, encaminadas a la disminución del riesgo en aquellas zonas donde se estima un daño mayor; planificar la respuesta frente a las situaciones de grave riesgo colectivo y/o emergencia; y definir la estructura de coordinación y control de los diferentes organismos y entidades que han de cooperar. Por otra parte, después del seísmo, en base a la información de los posibles daños causados por el terremoto, permite actuar según lo establecido en los planes de emergencia y realizar un seguimiento de la evolución de la emergencia.

4.2.Vulnerabilidad

A continuación se exponen los resultados en referencia a la vulnerabilidad, concretamente el índice de vulnerabilidad media para los tres análisis realizados.

4.2.1. Resultados a nivel de unidades de estudio

En base a los índices básicos de vulnerabilidad y a las correcciones aplicadas, se determina el valor del índice de vulnerabilidad característico de cada tipología. Este índice conjuntamente con la distribución de tipologías determina el índice de vulnerabilidad medio de cada unidad de estudio.

Identificador polígono	Núcleo	Diseminado	IVm
25031000101	Arres de Jos		0,742
25031000201	Arres de Sus		0,747
25045000101	Bausen		0,760
25045000201	Pontaut		0,760
25057000400		Es Bordes	0,749
25057000101	Arró		0,673
25057000201	Begòs		0,760
25057000301	Benòs		0,760
25057000401	Es Bordes		0,692
25059000100		Bossòst	0,744
25059000101	Bossòst		0,691
25063000300		Canejan	0,772
25063000700		Puntaut	0,772
25063000301	Canejan		0,751
25063000501	Moron, Mola y Navias		0,769
25063000601	Eth Pradet		0,769
25063000801	Pursingles		0,769
25063000901	Sant Joan de Toran		0,736
25121000101	Les		0,696

Identificador polígono	Núcleo	Diseminado	IVm
25025000100		Arties	0,704
25025000300		Baqueira	0,704
25025000600		Salardú	0,572
25025000700		Tredòs	0,482
25025000101	Arties		0,645
25025000201	Bagergue		0,617
25025000301	Baqueira		0,581
25025000401	Garòs		0,628
25025000501	Gessa		0,614
25025000601	Salardú		0,640
25025000701	Tredòs		0,617
25025000801	Unha		0,615
25243001300		Vilac	0,704
25243000101	Arròs		0,631
25243000102	Pont d'Arròs		0,736
25243000201	Aubèrt		0,644
25243000301	Betlan		0,655
25243000401	Betren		0,626
25243000501	Casarih		0,649
25243000601	Casau		0,626
25243000701	Escunhau		0,619
25243000801	Gausac		0,638
25243000901	Mont		0,673
25243001001	Montcorbau		0,658
25243001103	Vielha		0,627
25243001201	Vila		0,652
25243001302	Vilac		0,642
25243001301	Santa Gemma		0,522
25247000100		Vilamòs	0,704
25247000201	Era Bordeta		0,747
25247000101	Vilamòs		0,736

Tabla 21. Índice de vulnerabilidad medio de cada unidad de estudio.

En la Tabla 21 se especifica el índice de vulnerabilidad medio para cada unidad de estudio identificadas según sean núcleos urbanos o zonas de diseminado y a través del código detallado en la primera columna de la tabla; No obstante, para facilitar la interpretación de los datos se adjunta la Figura 23, donde se representan gráficamente los valores del índice de vulnerabilidad medio.

De esta representación se desprende que, en referencia a la vulnerabilidad, la comarca se divide en tres zonas, prácticamente, homogéneas entre ellas, a excepción de alguno de los grandes núcleos. En primer lugar, los siete municipios de la zona noroeste son los más vulnerables; en este sentido, cabe comentar que los edificios en mal estado se localizan en esta zona. En segundo lugar, la zona central, que comprende el municipio de *Vielha-Mijaran*, es una zona con una vulnerabilidad media, donde los índices varían entre 0,61 y 0,70, a excepción del núcleo de *Pont d'Arròs*. Por último, la zona este, que contiene el municipio de *Naut Aran*, es la zona con la vulnerabilidad más baja; en este aspecto, cabe remarcar que en esta zona el 76 % de las edificaciones pertenecen al periodo 3, es decir, construidas entre 1971 y 2001.

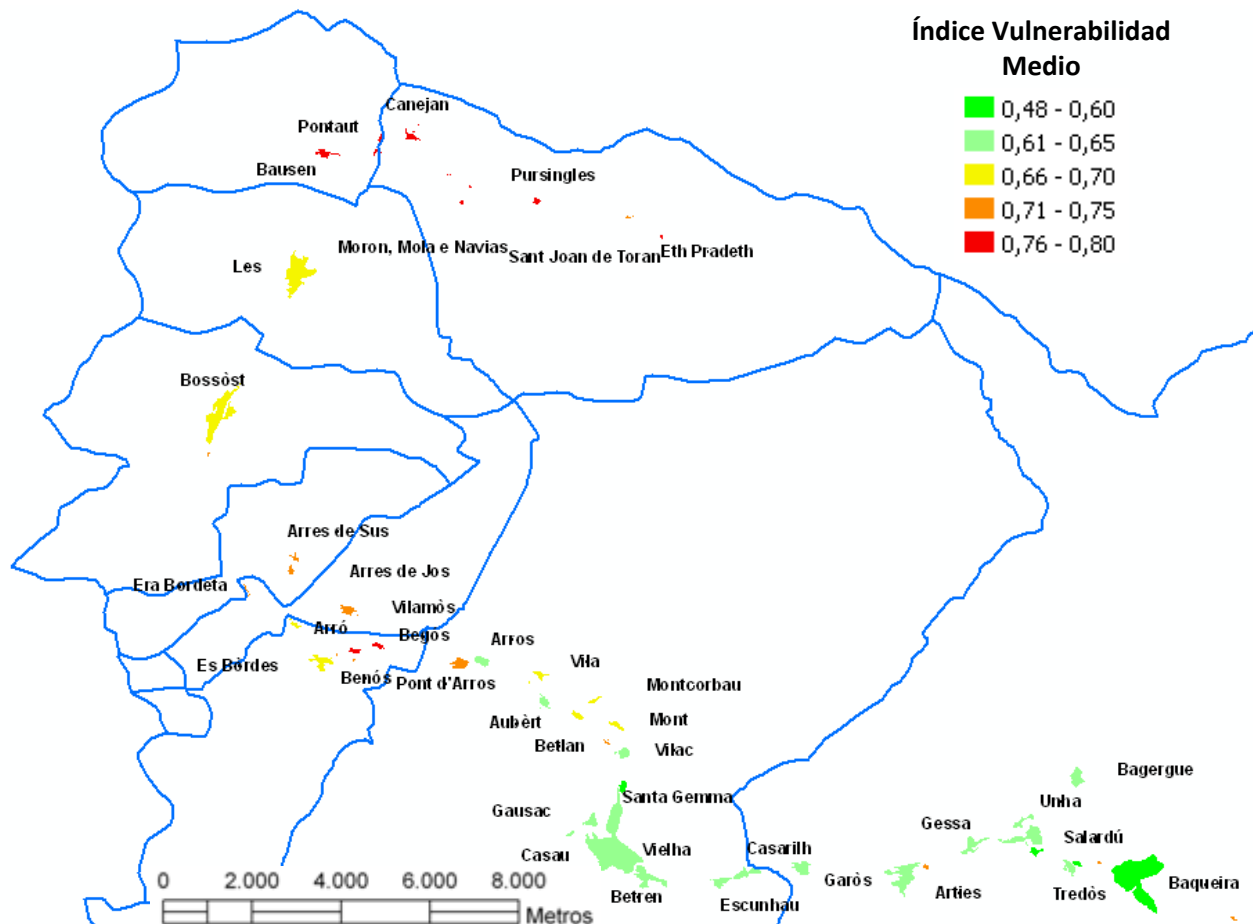


Figura 23. Representación del Índice de Vulnerabilidad medio de cada unidad de estudio.

4.2.2. Resultados a nivel de edificios en Gausac

A partir de un estudio más detallado del núcleo de Gausac se determina el índice característico de cada edificio. Estos valores conjuntamente con la intensidad sísmica de la zona permiten obtener los daños de cada edificio. Sin embargo es una metodología que requiere una información muy detallada del parque de edificios. Por ello, en este estudio se ha realizado solo para una unidad de estudio para poder observar si los resultados obtenidos a nivel de polígono son similares a los obtenidos mediante esta metodología.

Así, con el objetivo de comparar ambas metodologías se ha calculado a partir de los índices característicos de los edificios un índice de vulnerabilidad media. Este valor se ha obtenido en base una media ponderada según la tipología de los índices individuales, el resultado del cual es de 0,6418, mientras en a metodología anterior tomaba un valor de 0,638. Ambos valores se agrupan en el mismo nivel de vulnerabilidad, como se puede ver en la leyenda de la Figura 23.

El índice de vulnerabilidad de un edificio es función de su tipología y de sus características particulares (altura y estado de conservación, entre otros); no obstante, la tipología de un edificio está estrechamente relacionada al periodo de construcción. Así, en la Figura 24 se puede observar el periodo de construcción de los edificios del núcleo de Gausac, extraídos de otro estudio (Rodríguez 2010). Cabe comentar que los periodos de construcción representados en la figura no se corresponden a los utilizados en el decurso del trabajo, como se puede ver en la leyenda; así como tampoco se ajusta al censo empleado en el presente estudio. Los

periodos de construcción son distintos porque también lo son los objetivos que se persiguen en cada estudio. La no correspondencia del censo es debida al hecho de que para el presente trabajo se han utilizado los datos del último censo oficial publicado, 2001, mientras que la figura muestra los datos correspondientes al año 2009, extraídos del Catastro.



Figura 24. Representación del año de construcción de los edificios del núcleo de Gausac (Rodríguez, 2010).

4.2.3. Resultados de los edificios singulares.

El estudio en profundidad de los edificios singulares permite asociarle a cada uno un índice de vulnerabilidad que se detalla en la Tabla 22. En ésta se puede observar cómo, por lo general, los edificios singulares presentan una elevada vulnerabilidad. Destaca, especialmente, el hecho que los edificios más vulnerables sean: los ayuntamientos, los parques de bomberos y las escuelas; en contraposición a los polideportivos que son los edificios menos vulnerables.

Institución	IV	Institución	IV
Conselh Generau D'Aran (Vielha)	0,616	Ajuntament de Vielha e Mijaran	0,740
Conselh Generau D'Aran (Vielha)	0,616	CEIP Garona (nou)	0,522
Espitau Val d'Aran	0,522	Polideportivo - Vielha	0,224
Espitau Val d'Aran (residencia)	0,616	Antiguo polideportivo – Vielha	0,484
Espitau Val d'Aran (ampliación)	-	Parc de Bombers Voluntaris de Les	0,740
Parc de Bombers Voluntaris de Vielha e Mijaran	0,522	Policia Nacional	0,704
Mossos d'Esquadra	0,522	Ajuntament de Naut Aran	0,740
Guardia Civil	0,616	CEIP de Salardú	0,740
Ajuntament de Bossòst y EEI (mismo edificio)	0,740	Polideportivo Salardú	0,484
Polideportivo Bossòst	0,484	Albergue (escuela tècnics)	0,522
CEIP Estudi Alejandro Casona	0,616	CEIP Loseron	-
CEIP Estudi Alejandro Casona	-	CEIP Sant Martí	0,704
Polideportivo Les	0,447	CEIP Eth Roser	0,740
Parc de Bombers Voluntaris de Bossòst	0,704	CEIP Casteth Leon	0,740
Parc de Bombers Voluntaris de Bossòst	0,740	Arxiu històric Aran (any 1820)	0,740
Supermercado Boya	0,402	EEI Municipal (guarderia)	0,389
Supermercado Caprabo	0,402	Palau de gel	0,522

Tabla 22. Índices de vulnerabilidad básicos de los edificios singulares.

4.3. Escenarios de daño

La metodología del índice de Vulnerabilidad permite calcular el grado de daño medio en base a la intensidad y al índice de vulnerabilidad. A continuación se expone este resultado μ_D para los tres análisis realizados.

4.3.1. Resultados a nivel de unidades de estudio

A partir de la intensidad estimada que se puede ver en la Figura 7 y de los índices de vulnerabilidad medios (Tabla 21) de cada unidad de estudio se puede calcular el grado de daño medio que se representa en la Figura 25.

En la representación gráfica se puede observar que el grado de daño medio para el escenario asigna valores de daño leve para, prácticamente, la totalidad de los polígonos; a excepción de tres: el núcleo de Santa Gemma y los diseminados de Arties y Tredòs; a los que no asigna daño.

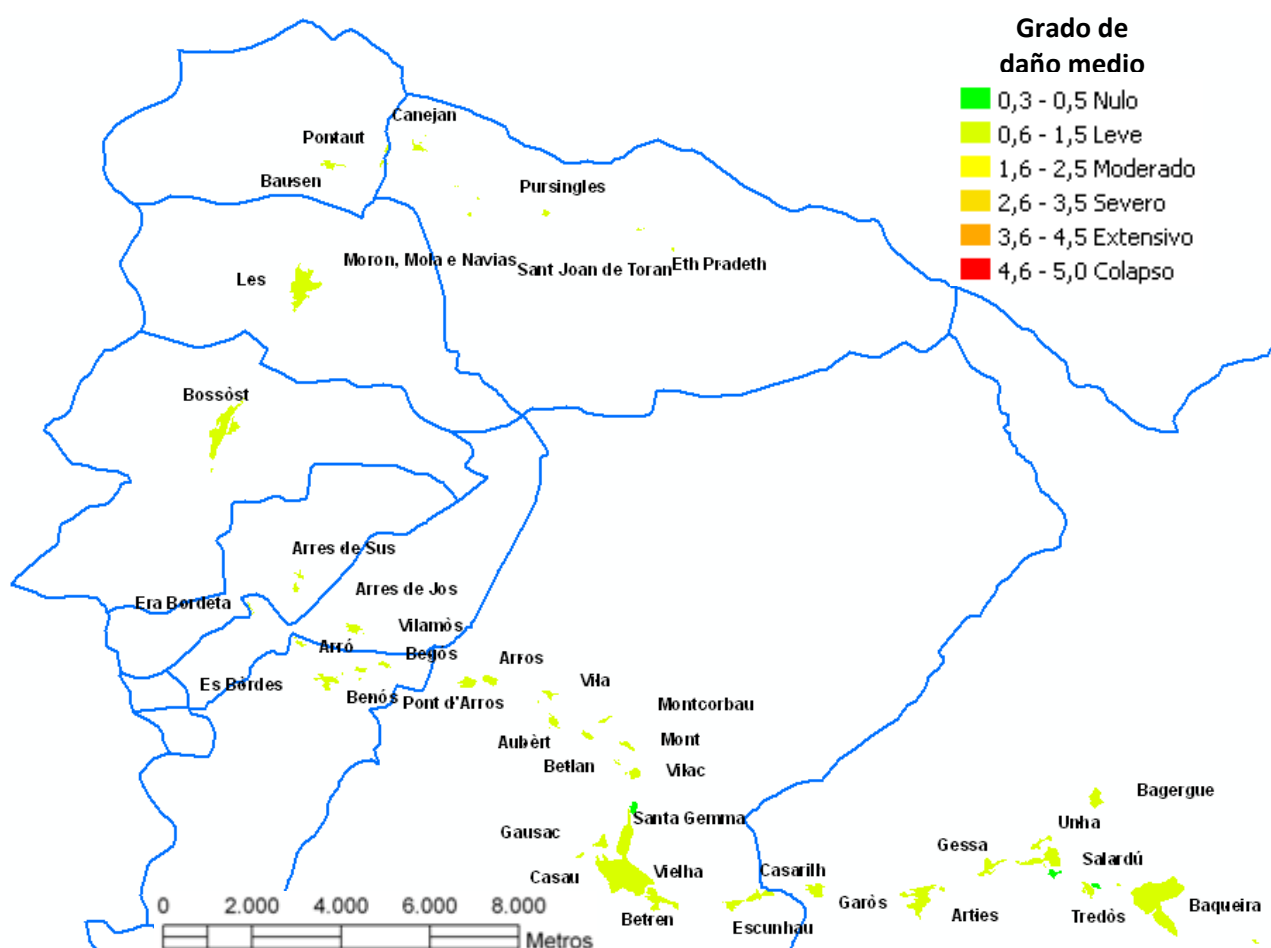


Figura 25. Representación del grado de daño medio de las unidades de estudio.

Aunque el grado de daño medio en todos los polígonos sea leve (entre $\mu_D=0,6$ y $\mu_D=1,5$), la distribución de las probabilidades de cada estado de daño es muy diferente. Como puede apreciarse en la Figura 26, para el grado de daño medio de $\mu_D=0,6$, la probabilidad de ocurrencia del estado de daño moderado es tan solo del 8,2 % y la probabilidad del severo es del 1,4 %. Sin embargo, para el grado de daño medio de $\mu_D=1,5$, es del 30 % y del 12 %,

respectivamente. Esto significa que el 30% de los edificios de ese polígono puede sufrir un daño moderado, y el 12% un daño severo; mientras que para el caso previo, un 8,2 % de los edificios puede sufrir un daño moderado y un 1,4 % puede sufrir un daño severo. En este sentido, en la Figura 27 se representa la probabilidad de ocurrencia de daño moderado.

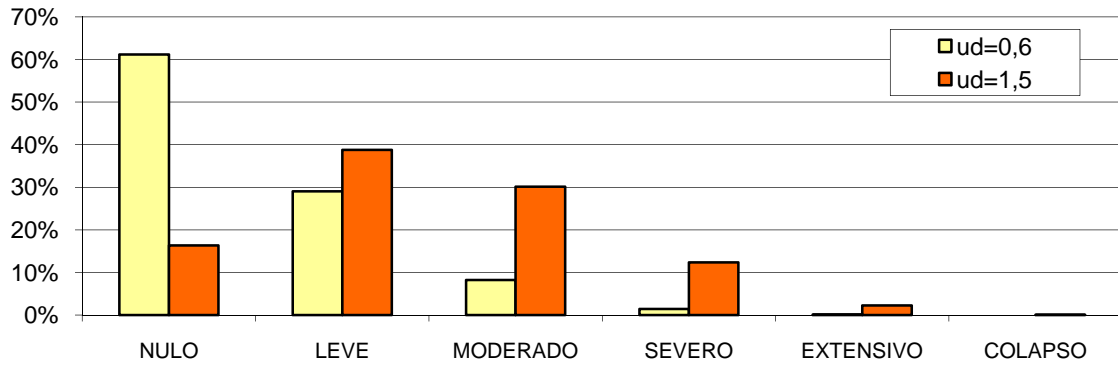


Figura 26. Distribución de las probabilidades de ocurrencia de cada estado de daño parados valores diferentes de grados de daño medio leve $\mu_D=0,6$ y $\mu_D=1,5$.

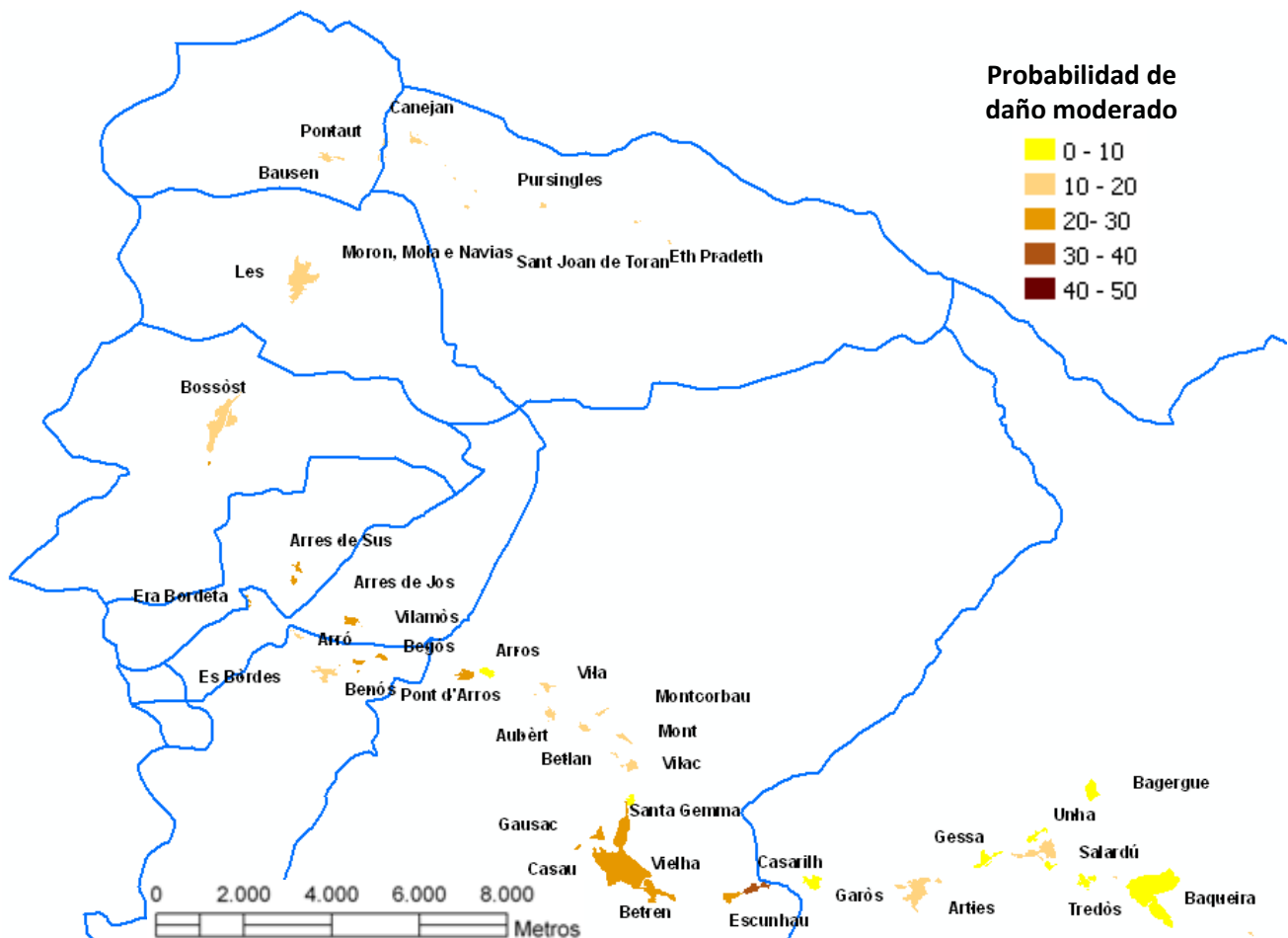


Figura 27. Representación de la probabilidad de daño moderado de las unidades de estudio.

4.3.2. Resultados a nivel de edificio en *Gausac*

A partir de la intensidad y del índice de vulnerabilidad de cada edificio se ha determinado el grado de daño medio de cada edificio. Y análogamente al análisis de los resultados de vulnerabilidad, se ha calculado un grado de daño medio en base una media ponderada en función de la tipología. De este cálculo resulta que el conjunto de edificios del núcleo de *Gausac* sufrirían un grado de daño leve ($\mu_D=1,3812$), que es la misma interpretación que se obtiene del análisis en base a unidades de estudio ($\mu_D=1,3781$).

A pesar de que genéricamente el grado de daño medio del núcleo de *Gausac* es leve, al analizar los edificios individualmente se obtiene el porcentaje de edificios que sufrirían cada categoría de daño. Así, para el caso particular de *Gausac* el 60 % de los edificios sufrirían daños leves, mientras un 40 % los sufrirían moderados.

4.3.3. Resultados de los edificios singulares

En el caso de los edificios singulares, el grado de daño asociado se detalla en la Tabla 23. En concordancia con el resto de análisis, en general el grado de daño que presentan estas edificaciones es leve; No obstante, hay edificaciones con un grado de daño medio nulo y edificaciones con un grado de daño medio moderado. Por un lado y considerando lo que se ha comentado durante el análisis de vulnerabilidad, los polideportivos son menos vulnerables, y en consecuencia, también son los que sufrirían daños más leves. A excepción de uno de los polideportivos, para el resto se estima un grado de daño medio nulo. Por otro lado, cabe destacar que el ayuntamiento de *Vielha*, capital de la comarca, es el edificio con un valor de grado de daño medio más elevado.

Institución	μ_D	Institución	μ_D
Conselh Generau D'Aran (Vielha)	1,2610	Ajuntament de Vielha e Mijaran	1,9909
Conselh Generau D'Aran (Vielha)	1,2610	CEIP Garona (nou)	0,8414
Espitau Val d'Aran	0,8414	Polideportivo - Vielha	0,1926
Espitau Val d'Aran (residencia)	1,2610	Antiguo polideportivo - Vielha	0,7066
Espitau Val d'Aran (ampliación)	-	Parc de Bombers Voluntaris de Les	1,0855
Parc de Bombers Voluntaris de Vielha e Mijaran	0,8414	Policia Nacional	0,9285
Mossos d'Esquadra	0,8414	Ajuntament de Naut Aran	1,0855
Guardia Civil	1,2610	CEIP de Salardú	1,0855
Ajuntament de Bossòst y EEI	1,0855	Polideportivo Salardú	0,3227
Polideportivo Bossòst	0,3227	Albergue (escola tècnics)	0,3909
CEIP Estudi Alejandro Casona	0,6192	CEIP Loseron	-
CEIP Estudi Alejandro Casona	-	CEIP Sant Martí	0,9285
Polideportivo Les	0,2670	CEIP Eth Roser	1,0855
Parc de Bombers Voluntaris de Bossòst	0,9285	CEIP Casteth Leon	1,0855
Parc de Bombers Voluntaris de Bossòst	1,0855	Arxiu històric Aran (any 1820)	1,0855
Supermercado Boya	0,2115	EEI Municipal (guarderia)	0,4362
Supermercado Caprabo	0,4767	Palau de gel	0,8414

Tabla 23. Grado de daño medio de los edificios singulares.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.Introducción

En este trabajo se ha creado una base de datos georreferenciada, en base a un Sistema de Información Geográfica, para las zonas urbanas de la comarca de la *Val d'Aran*. Dicha base de datos ha sido generada a partir de información recopilada de diferentes fuentes, completada y mejorada mediante revisiones de campo y opiniones de expertos. Toda la información integrada en el SIG ha permitido realizar la evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas, mediante el Método del Índice de Vulnerabilidad (MIV), desarrollada en el proyecto europeo Risk-UE (2003).

En este trabajo se ha presentado y adoptado la metodología MIV, que permite obtener y analizar los escenarios de daño sísmico a un nivel tanto de detalle, edificio a edificio, como de forma más regional, por unidades de estudio. Dichas unidades incluyen edificios de diferente tipo, cuya distribución dentro de cada una se conoce de forma estadística. Estos escenarios han de entenderse como aquellos en los que es posible la predicción de la situación esperable en caso de la ocurrencia de un evento sísmico.

Empleando la base de datos generada, se han obtenido unos primeros resultados de riesgo sísmico, concretamente el daño físico directo en:

- los edificios residenciales de todos los núcleos y diseminados de la Val d'Aran, a nivel de unidades de estudio,
- los edificios residenciales del núcleo de Gausac, a nivel de detalle edificio a edificio, y
- los 29 edificios de la comarca, considerados como esenciales en caso de emergencia por la ocurrencia de un evento sísmico.

En el siguiente apartado se muestran las principales conclusiones sobre los aspectos que cobran mayor relevancia en este estudio y al final de este capítulo se indican algunas recomendaciones para futuros estudios en este campo.

5.2.Conclusiones

A continuación se comentan las diferentes conclusiones obtenidas durante la realización de este trabajo, agrupadas en referencia a los datos, la metodología, al uso del Sistema de Información Geográfica, o a los resultados obtenidos del análisis de daño sísmico.

Base de datos

En primer lugar, se exponen las conclusiones relativas a los datos necesarios para la realización de los estudios de riesgo sísmico en zonas urbanas. En este sentido, uno de los aspectos de mayor complejidad en el momento de realizar estudios de riesgo sísmico en zonas urbanas, es tener un conocimiento detallado de la información necesaria para llevarlos a cabo, como son las características arquitectónicas, estructurales y geométricas de los edificios que componen la zona de estudio. Esta información ha de incorporarse en una base de datos que permita obtener resultados suficientes y con una adecuada resolución.

La base de datos que se ha creado en este trabajo demuestra ser suficiente para obtener resultados estadísticos a nivel municipal. Sin embargo, la obtención de escenarios a nivel de edificio, requiere una información más detallada, donde se asigne la información del censo de viviendas al edificio correspondiente; lo que, habitualmente, debe obtenerse mediante trabajo

de campo. Por ejemplo, en el caso de un estudio a nivel municipal es suficiente con identificar previamente las tipologías constructivas típicas de la zona, en base a opinión experta y trabajo de campo, para después conocer la distribución estadística de las edificaciones del municipio, clasificadas según dichas tipologías. Esta clasificación se realiza en función del periodo de construcción, la altura y la tipología; mientras en el caso de un estudio detallado edificio a edificio es necesario conocer los tres aspectos anteriores para cada edificio concreto, y por consiguiente georreferenciar de forma más exacta dicha información.

La recopilación de la información necesaria para el estudio de los edificios singulares supone una mayor complejidad, debido a que estos edificios suelen tener una distribución geométrica y unas características estructurales diferentes a las de las tipologías constructivas identificadas como típicas de la comarca. Así, para estos edificios no es suficiente una estimación estadística y es necesario realizar una visita técnica a cada uno de ellos, que permita recabar los parámetros característicos reales *in situ*.

En relación a la base de datos usada en este trabajo y teniendo en cuenta el dinamismo del sector de la construcción en los últimos años, sería aconsejable tener la base de datos actualizada al día de hoy. Cabe remarcar que la base de datos realizada se basa en el censo de edificios del 2001 del IDESCAT, ya que es éste el último oficial. Previsiblemente, el siguiente censo de edificios se publicará el año entrante. No obstante, la imagen de la realidad que se obtenga con la base de datos actualizada será igual o mejor que la imagen actual, debido a que los edificios incorporados desde el 2001 hasta la actualidad son, en el peor de los casos, igual de vulnerables que los menos vulnerables de la base de datos de este trabajo.

Metodología

En segundo lugar, y para detallar las conclusiones relativas a la metodología, se introduce la estimación del grado de daño medio. Esta metodología, como ya se ha comentado anteriormente, se basa en funciones semi-empíricas que son función de la acción sísmica y de la vulnerabilidad. Por una parte, en referencia a la acción sísmica, resulta sencilla de aplicar al requerir poca información de esta índole, ya que tan solo precisa de la intensidad macrosísmica, frente a otros métodos más avanzados que requieren espectros de respuesta.

Por otra parte, en referencia a la vulnerabilidad, este método al tratarse de un método estadístico, tiene la ventaja de poder adaptarse al nivel de detalle de que se disponga sobre las edificaciones. Por lo que puede realizarse a nivel más general, únicamente con la distribución estadística de los edificios por zonas o bien de forma individual, edificio a edificio, con un mínimo de información. Sin embargo, la información a este nivel de detalle, aunque sencilla a nivel estructural, suele resultar difícil de obtener.

También en relación a la metodología, la vulnerabilidad de los edificios se estima a partir del método del índice de vulnerabilidad. Esta metodología permite definir un único índice para cada tipología estructural, pero a su vez, también permite incorporar modificadores a estos índices que, a su vez, permiten ajustar la vulnerabilidad a las características particulares de los edificios. De este modo, para asignar estos valores es necesaria la obtención de información estructural como el año de construcción por ejemplo, y puede irse ampliando para mejorar el análisis de vulnerabilidad en función de la información adicional que se obtenga (número de plantas, irregularidades en planta o altura, estado de conservación, etc). De esta manera, se

han identificado cinco tipologías estructurales: tres de mampostería, una de hormigón armado y una metálica.

En conclusión, esta metodología, resulta de sencilla aplicación, y permite obtener una estimación del grado de daño medio a partir tal solo del índice de vulnerabilidad y la intensidad macrosísmica, sin que esto vaya en detrimento de la calidad y empleo del resultado final obtenido. En conclusión, y por todo lo detallado hasta el momento, se puede considerar que la metodología empleada es robusta, versátil y de fácil aplicación en zonas urbanas.

Sistemas de Información Geográfica

Cabe hacer un especial inciso en las conclusiones que se desprenden del uso de los sistemas de información geográfica. Estos sistemas permiten un versátil manejo de la información estudiada y, por ello, el uso de esta herramienta resulta de una gran utilidad. Así, se puede combinar la información procedente de diferentes fuentes, se pueden utilizar diferentes herramientas de análisis de los datos, se pueden realizar operaciones con los datos gráficos y/o alfanuméricos, y representar la información recopilada o estimada en mapas temáticos. El proyecto SIG que se ha implementado es de una gran utilidad para simular escenarios de seísmos en distintos niveles de resolución, permitiendo obtener resultados del riesgo sísmico al detalle deseado, y representarlos de manera clara y concisa.

Resultados

Las conclusiones de los resultados obtenidos en el estudio realizado se pueden clasificar en diferentes puntos. Por un lado, en referencia a los resultados de vulnerabilidad, se puede concluir que la comarca se divide en tres zonas claramente diferenciadas: una más al norte con una alta vulnerabilidad debido a la mayor edad de sus edificaciones; otra que abarcaría principalmente el municipio de Vielha, y con una vulnerabilidad media, donde los índices varían entre 0,61 y 0,70; y una más al este que agrupa los núcleos con la vulnerabilidad más baja.

Los resultados de daño obtenidos corresponden a un escenario de peligrosidad determinista, correspondiente al terremoto histórico de 1923. Por tanto, se puede concluir que para el peor caso de seísmo del que se tiene constancia en la zona de estudio, el grado de daño medio esperado en las entidades de población varía entre nulo y leve, lo cual significa que los edificios, en su mayoría, no sufrirán daños estructurales.

Sin embargo, deben consultarse los mapas de probabilidad de ocurrencia de los diferentes estados de daño, ya que pese a que los núcleos presentan el mismo grado de daño medio o más probable, la probabilidad de ocurrencia de los diferentes estados de daño pueden variar de forma significativa entre ellos. Se recomienda para la comarca de la Val d'Aran, analizar sobre todo los escenarios del estado de daño moderado, para identificar aquellos núcleos que presentarían un mayor porcentaje de edificios que sufrirían este tipo de daño. Este sería uno de los resultados más destacados que se puede extraer del estudio realizado gira alrededor del grado de daño medio. Así pues, a modo de ejemplo, y efectuando una comparación por entidades de población de la comarca, resulta que la más afectada y que presenta mayor grado de daño medio, en el escenario estudiado, es Casarilh (con un valor de 1,4363, correspondiente al estado de daño leve); mientras que la menos afectada es la correspondiente del diseminado de Tredòs (con un valor de 0,3194). Sin embargo, si se

consultan sus distribuciones, en el primer caso, la distribución de la probabilidad de ocurrencia de los estados de daño es: nulo 16 %, leve 39 %, moderado 30 %, severo 12 %, extensivo 2,3 % y colapso 0,7 %; mientras que, en el segundo caso, la distribución de probabilidades se desvía considerablemente hacia los estados de daño menores: nulo 83%, leve 14 %, moderado 2,5 %, severo 0,3 %, extensivo 0,2 % y colapso 0 %.

5.3.Líneas futuras de trabajo

A continuación se exponen algunas recomendaciones para futuras líneas de trabajo, que den continuidad y desarrollen el estudio realizado.

En este trabajo se ha creado una base de datos con la información necesaria para la realización de estudios de riesgo sísmico. A partir de esta base de datos es posible estimar los daños esperados en la zona de estudio en base a otros escenarios sísmicos como, por ejemplo, en uno probabilista, asociado a un periodo de retorno concreto y realizar, así, una comparación entre los resultados del escenario determinista estudiado en el presente trabajo y los resultados del nuevo escenario, incluso podría analizarse la influencia de incorporar los efectos de suelo en la acción sísmica.

Otra posibilidad que permite la base de datos creada es la estimación de los daños a la población (personas heridas o personas sin hogar, por ejemplo), la estimación de las pérdidas económicas directas o la estimación de los escombros generados con la ocurrencia de un terremoto, ya sea para el escenario estudiado o para un nuevo escenario en la misma zona.

También es recomendable, en el caso de ampliar el presente estudio, que se actualice la base de datos en base al próximo censo de viviendas que, previsiblemente, se oficializará en el 2011.

REFERENCIAS

- Giovinazzi, S. y Lagomarsino, S. (2002). *WP04: Guidelines for the implementation of the I level methodology for the vulnerability assessment of current buildings*. Genoa, Italy.
- González, M. (2010). *Evaluación del riesgo sísmico en el Principado de Andorra*. Tesis doctoral del Departamento d' Enginyeria del terreny, cartogràfica i geofísica de la Universitat Politècnica de Catalunya. (Disponible en: www.tdx.cat/TDX-0618110-122408.)
- Grünthal, G. (1998). *European Macroseismic Scale 1998*. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxemburg.
- ISARD (2006). *Información Sísmica Automática Regional de Daños*, Interreg IIIA France Spain 2000–2006 programme. (Disponible en: www.isard.project.eu.)
- Lantada, N. (2007) *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. Tesis Doctoral del Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica y Geofísica. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. 350 pp.
- Lungu, D., Aldea, A., Arion, A., Vacareanu, R., Petrescu, F. y Cornea, T. (2001). *WP1 Report European distinctive features, inventory database and typology*. Risk-UE Project. 58 pp.
- Milutinovic, Z. V. y Trendafiloski, G. S. (2003). *WP04. Vulnerability of current buildings. RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*. Contract No.EVK4-CT-2000-00014. Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS), Skopje. 109 pp.
- Olivera, C., A. Riera, J. Lambert, E. Banda and P. Alexandre (1994a): *Els terratrèmols de l'any 1373 al Pirineu: efectes a Espanya i França*. Servei Geològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Monografies, vol. 3, 220p.
- Olivera, C., A. Riera-Melis, B. Martínez, and A. Roca. (1994b). *Revision of the 1427 earthquakes in the Eastern Pyrenees. Delimitation of the epicentral area and intensity assessment for the March 15 and May 15 events*. In: Albini, P. and Moroni, A. (editors): *Historical investigation of european earthquakes*. CNR, Milan, vol. 2, 169-179.
- PDEM (2006) *Pla Director de les Estacions de Muntanya*. Aprobado definitivamente por el acuerdo del Gobierno de la sesión de 23 de mayo de 2006, publicado al DOGC núm. 4669, de 5 de julio de 2006. p 29647.
- Risk-UE (2003). *An advanced approach to earthquake RISK scenarios with applications to different European towns. European Commission 5FP - City of Tomorrow and Cultural Heritage*. CEC Contract Number: EVK4-CT-2000-00014. Duration: 44 Months (15/01/2001-30/09/2004). (Disponible en: www.risk-ue.net).
- Rodríguez, J (2010) *Vielha-Mijaran Estudi de creixement*. Elements d'urbanització. Universitat Politècnica de Catalunya.
- SisGeolnRisk (2010) *Contribuciones sismológicas, geofísicas y de ingeniería a la predicción y prevención del riesgo sísmico*. Proyecto de investigación del Ministerio de Educación y Ciencia 2009-2011(CGL2008-00869/BTE)

SISMICAT (2003) *Resolució JUI/1915/2003*, de 20 de mayo, por el que se da publicidad al acuerdo del Gobierno de 13 de mayo por el que se aprueba el plan especial de emergencias sísmicas de Cataluña (SISMICAT), DOGC N. 3912 de 26/672003, p. 12896. (Disponible en catalán en: www.gencat.net/interior/leg/2003r1915.pdf).

Sispyr (2010) *Sistema de Información Sísmica del Pirineo*. INTERREG: POCTEFA 2007-2013/73/08 (Disponible en: www.sispyr.eu)

Susagna, T., Roca, A., Goula, X. and Batlló, J. (1994). Analysis of macroseismic and instrumental data for the study of the November 19, 19-23 earthquake in the Aran Valley (Central Pyrenees), Natural Hazard vol.10, 7-17

Varnes, D. J. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. Natural Hazards vol. 3 UNESCO, Paris. 63 pp.

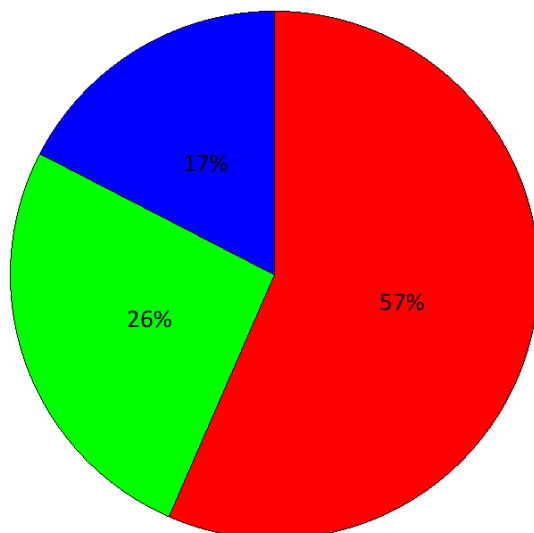
**ANEJO: ANÁLISIS DE LOS DATOS
DEL CENSO DE EDIFICIOS DEL 2001**

En este anejo se presentan en forma de gráficos los datos proporcionados por IDESCAT referentes al parque de edificios de la comarca de la Val d’Aran en 2001. Dicha información se clasifica según su año de construcción, número de plantas, y estado de conservación, para cada uno de los nueve municipios de dicha comarca. Es necesario destacar que la información de un municipio, no corresponde a un único núcleo urbano, sino que se distribuye entre varios núcleos y diseminados, que en este trabajo se han denominado “unidades de estudio”.

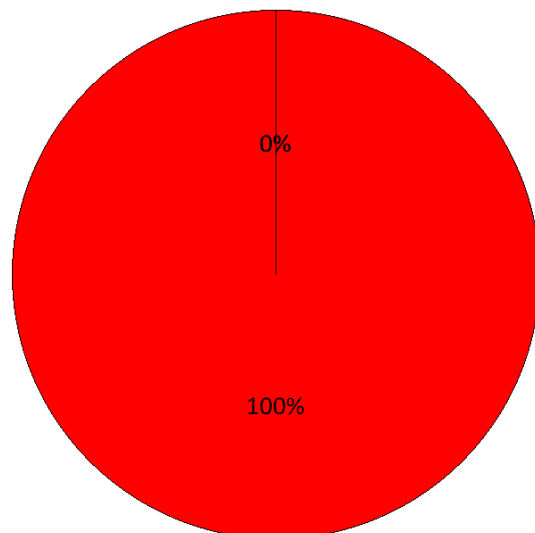
Distribución del parque de edificios según los periodos constructivos

A continuación, se adjuntan los gráficos con la distribución del parque de edificios según los periodos constructivos. Así, se pueden observar los porcentajes de edificaciones de cada periodo en cada uno de los municipios. Y, a modo de resumen, el porcentaje de edificios que tiene cada municipio en cada periodo respecto del total de la comarca. Todos ellos se basan en la misma leyenda gráfica:

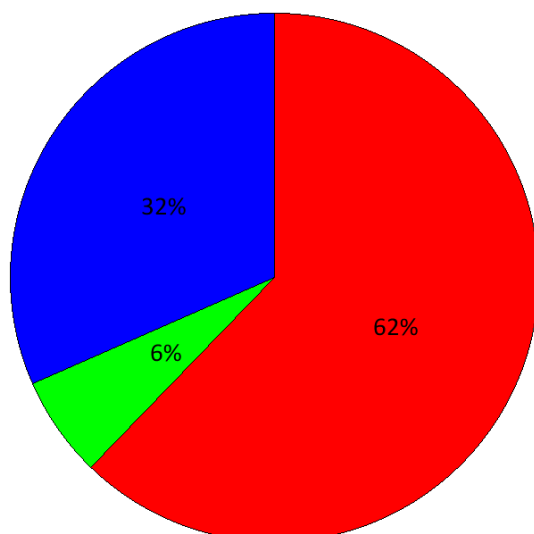
LEYENDA (periodos de construcción) ■ 1. < 1951 ■ 2. 1951 - 1970 ■ 3. > 1970



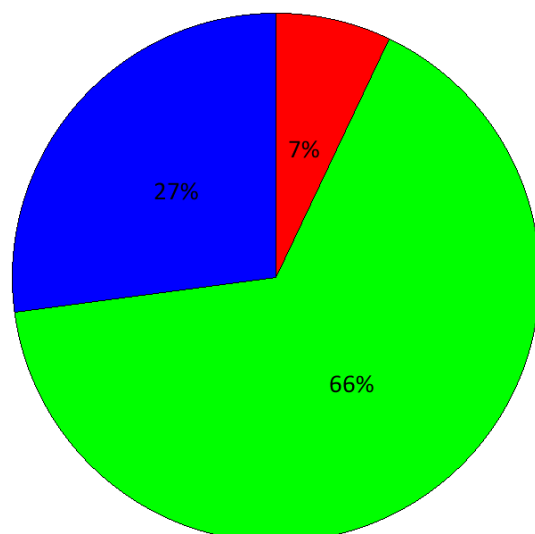
Arres



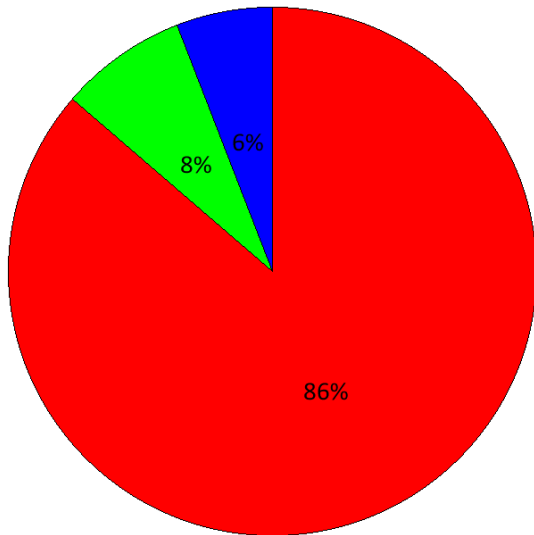
Bausen



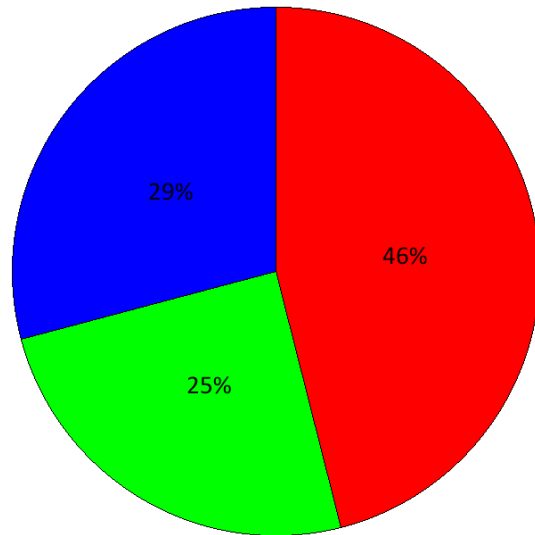
Es Bordès



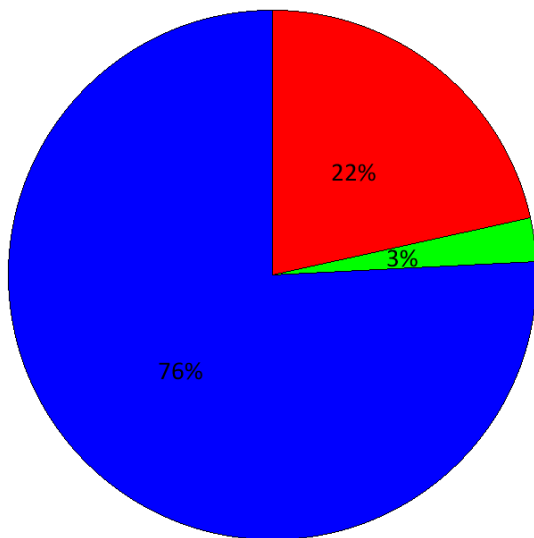
Bossòst



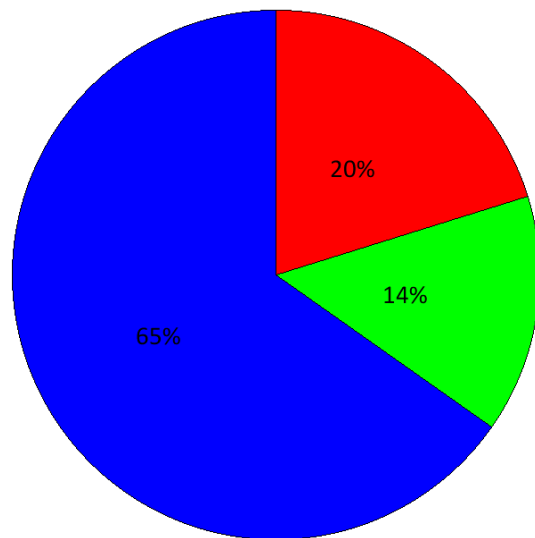
Canejan



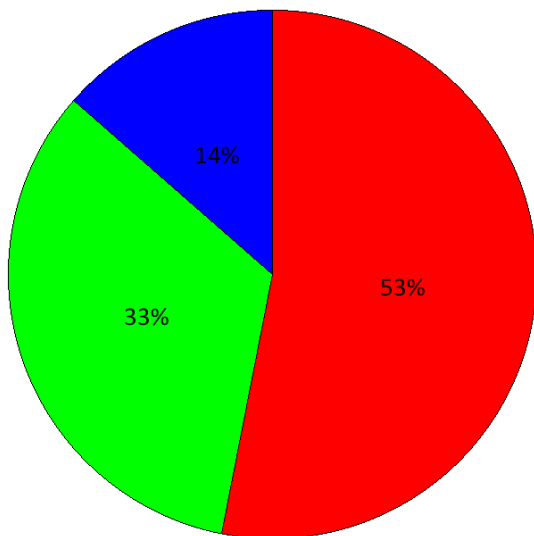
Les



Naut Aran



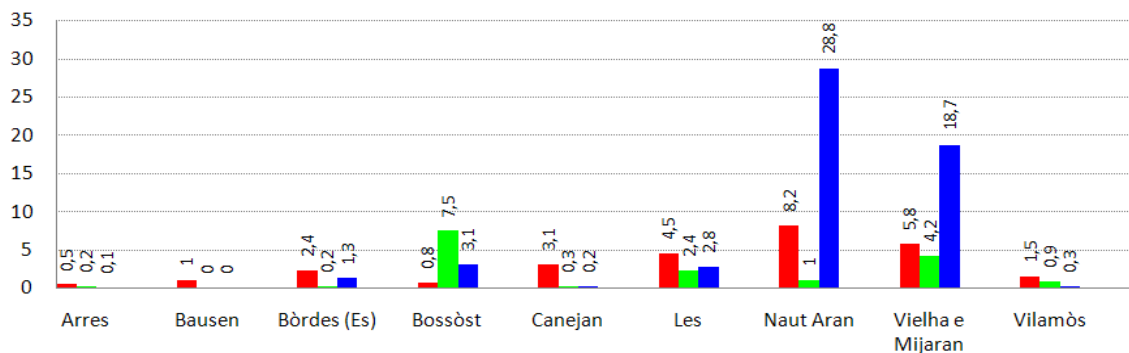
Vielha e Mijaran



Vilamòs

LEYENDA (periodos de construcción)

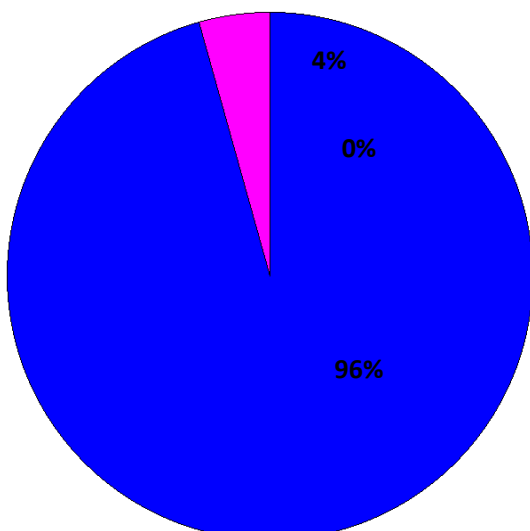
- 1. < 1951 ■ 2. 1951 - 1970 ■ 3. > 1970



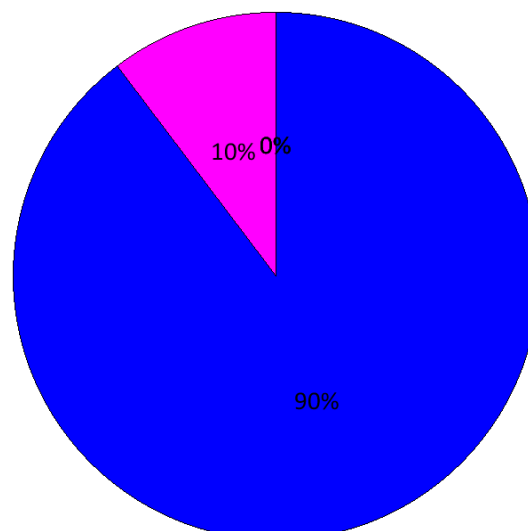
Distribución del parque de edificios según el número de plantas

A continuación, se recopilan los gráficos con la distribución del parque de edificios según el número de plantas por municipio. Así, se pueden observar los porcentajes de edificaciones por alturas en cada uno de los municipios, en función de la siguiente leyenda:

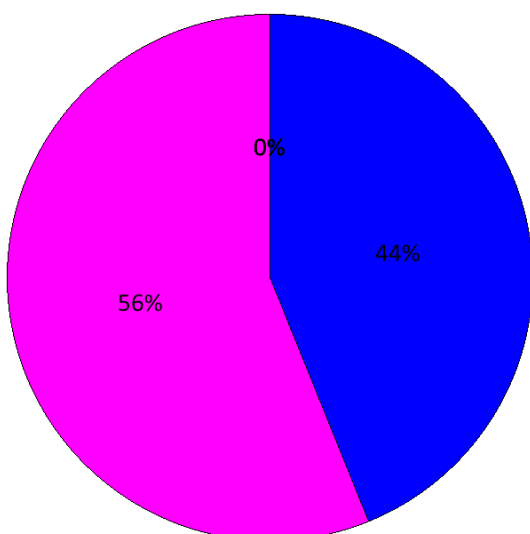
LEYENDA (nº de plantas) ■ 1-2 ■ 3 ■ 4-5 ■ 6-7 ■ 8 o superior



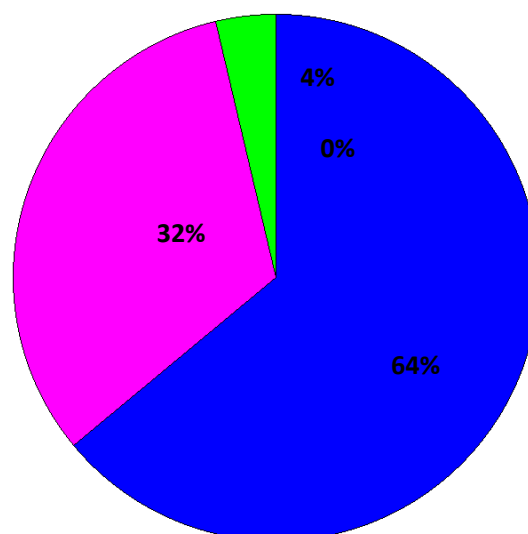
Arres



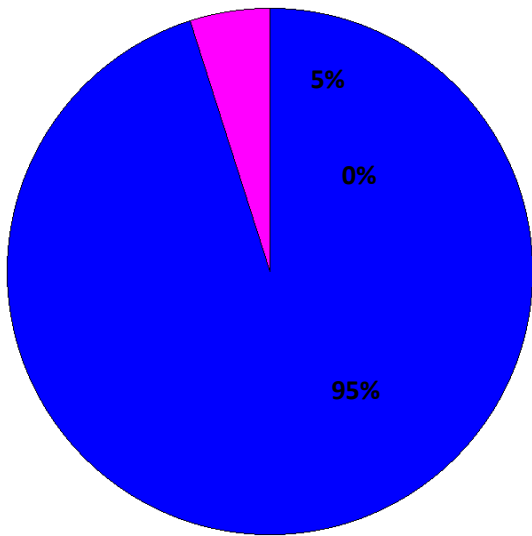
Bausen



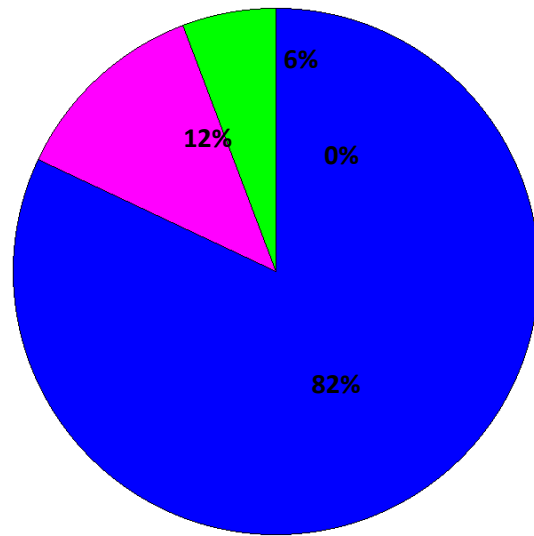
Es Bordès



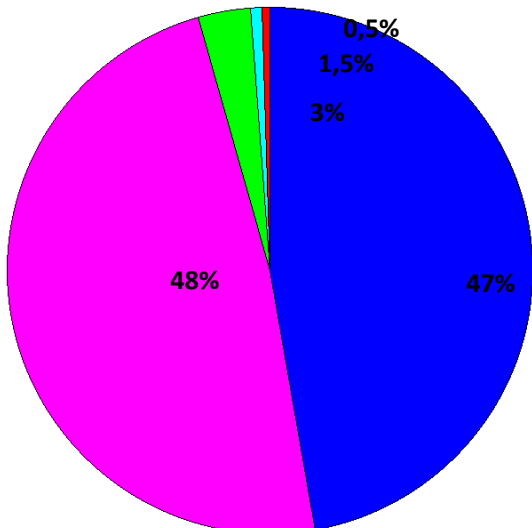
Bossòst



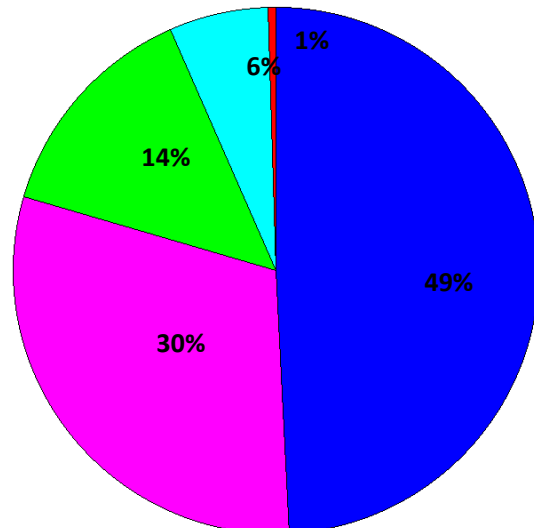
Canejan



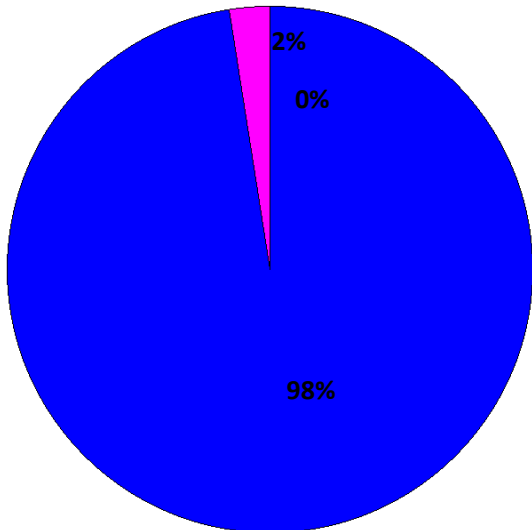
Les



Naut Aran



Vielha e Mijaran



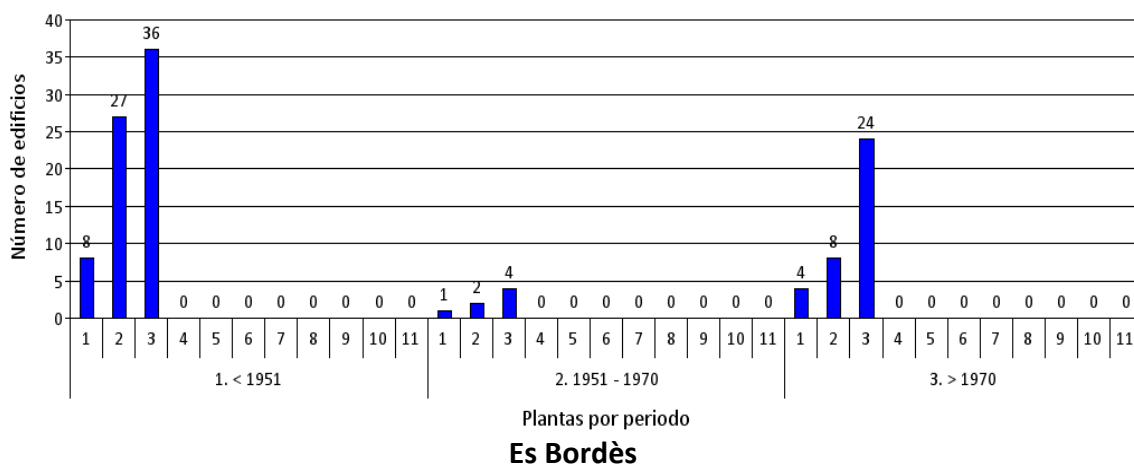
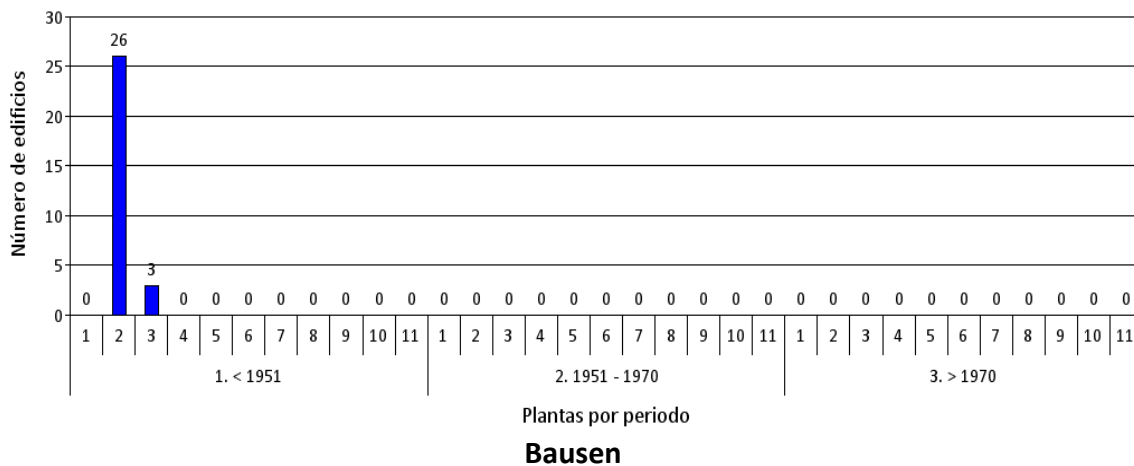
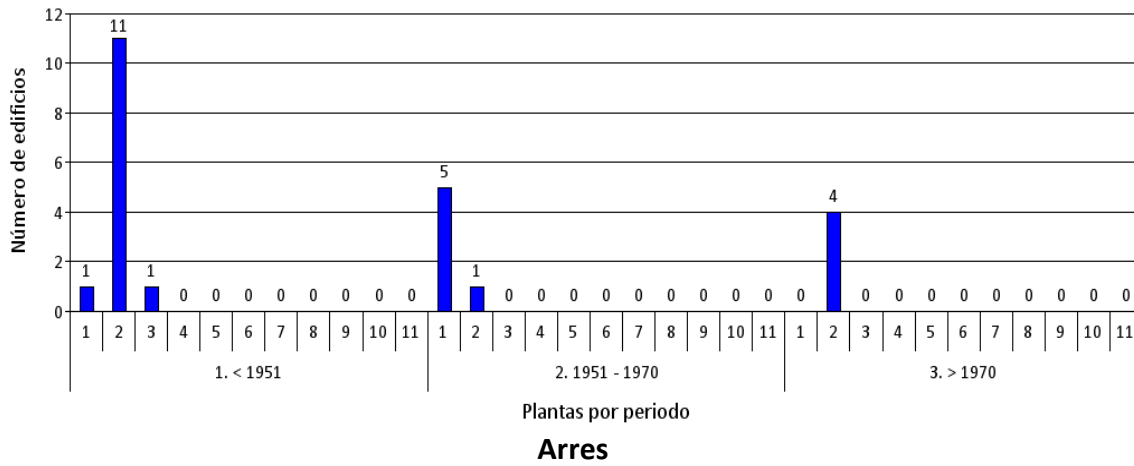
Vilamòs

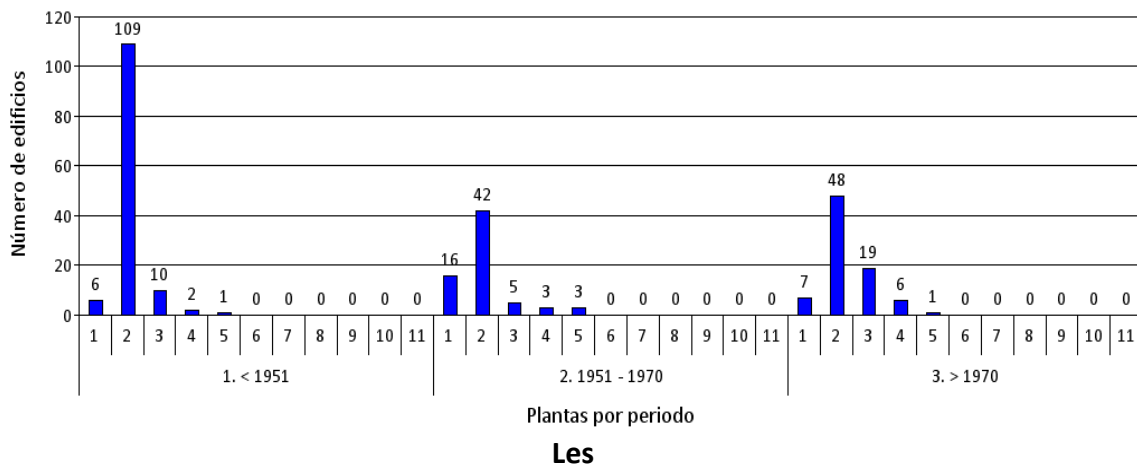
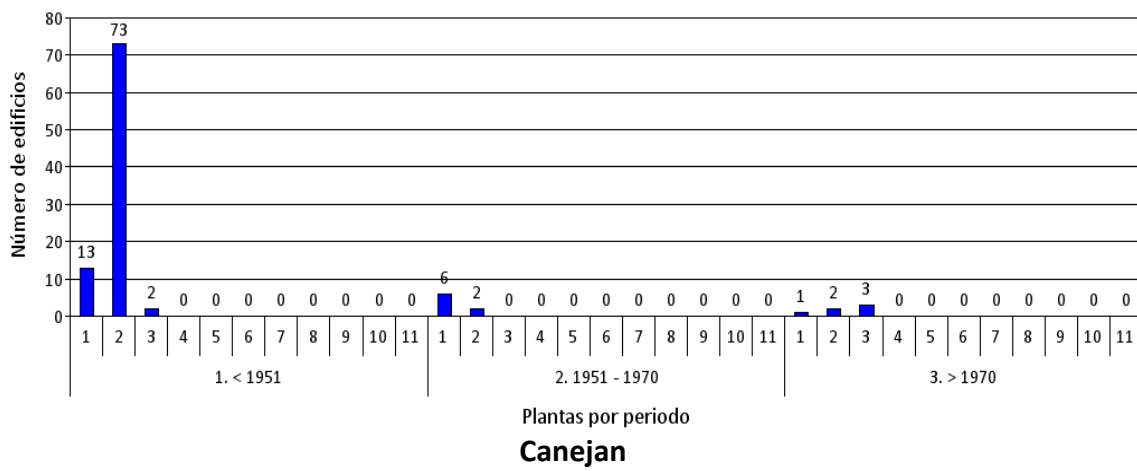
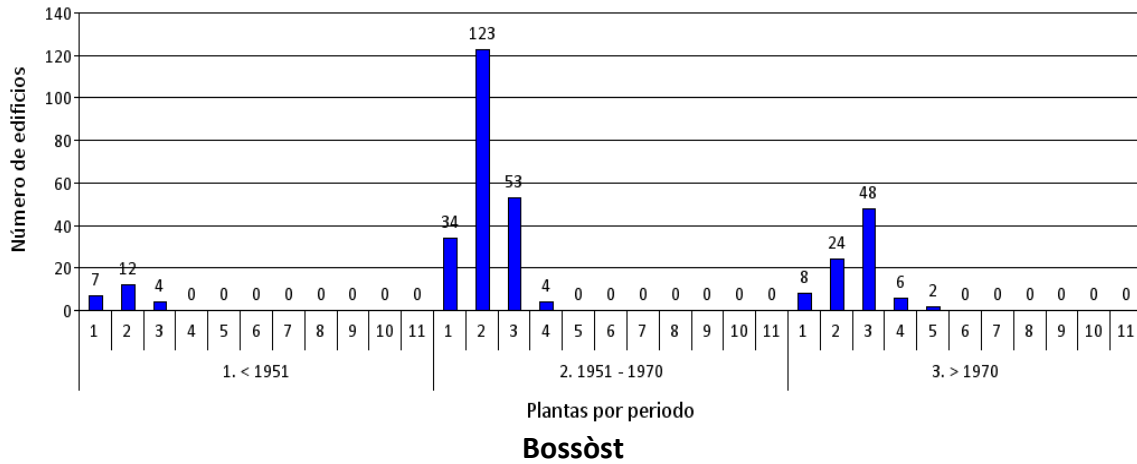
LEYENDA (nº de plantas)

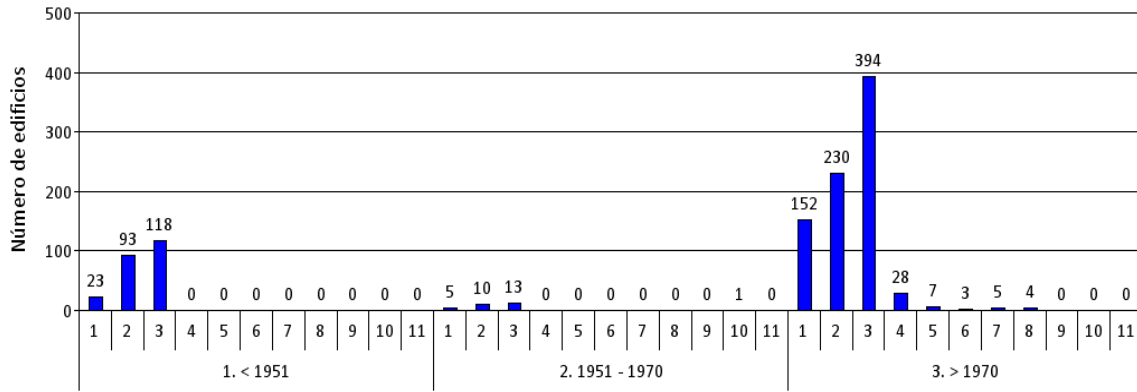
- 1 - 2
- 3
- 4 - 5
- 6 - 7
- 8 o superior

Número de plantas según el periodo de construcción

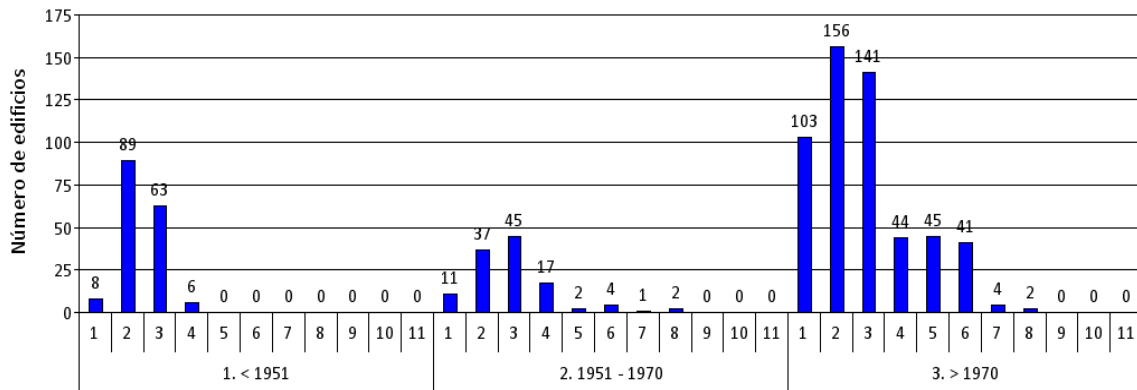
A continuación, se detallan los gráficos con el número de plantas de los edificios de cada municipio según los tres periodos de construcción considerados en este trabajo.



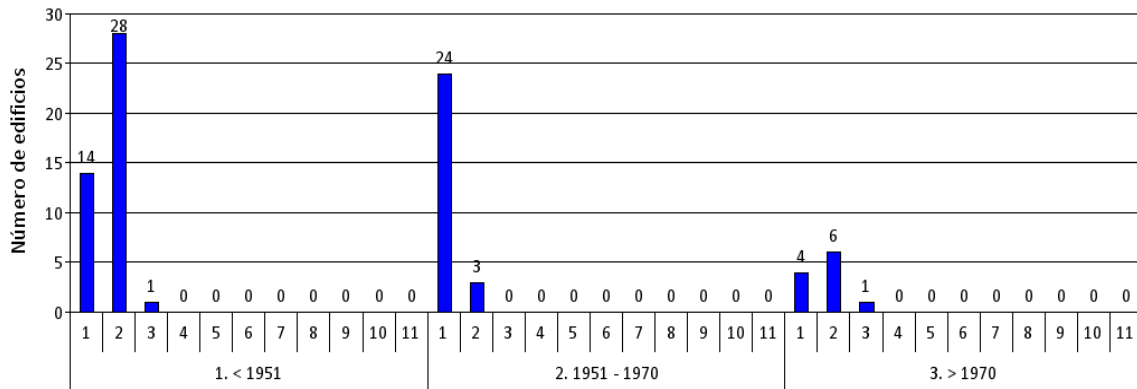




Plantas por periodo
Naut Aran



Plantas por periodo
Vielha e Mijaran

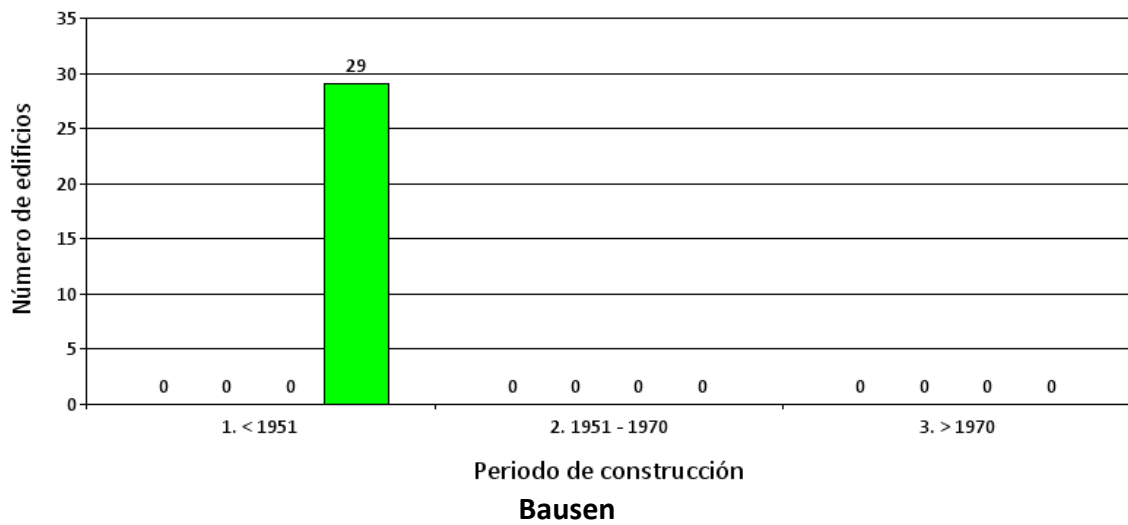
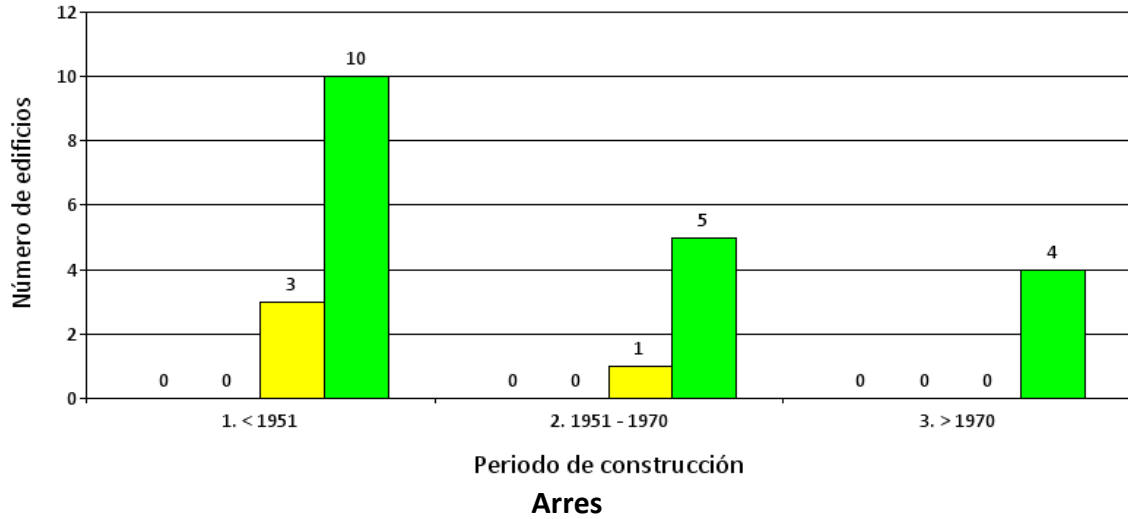


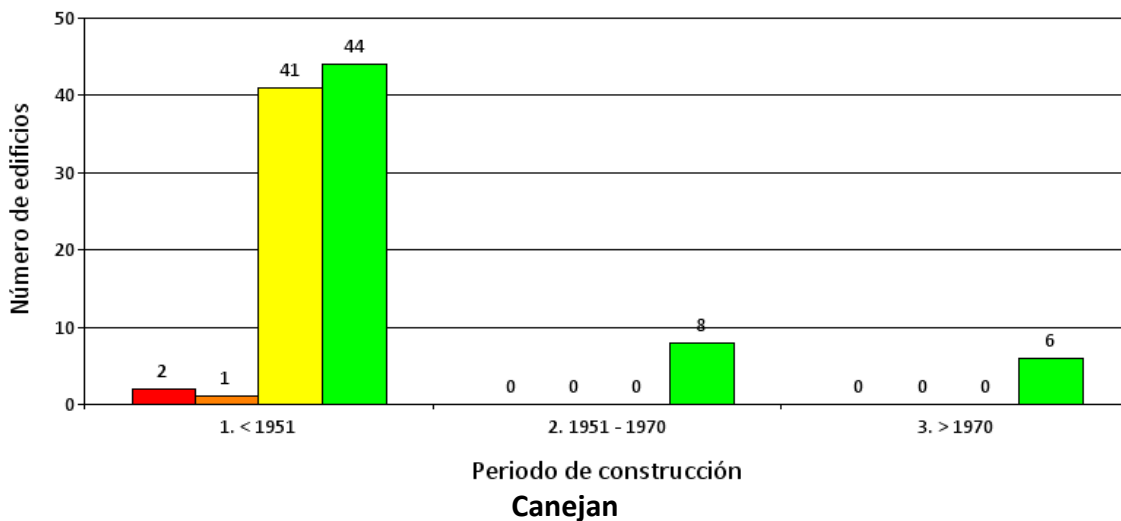
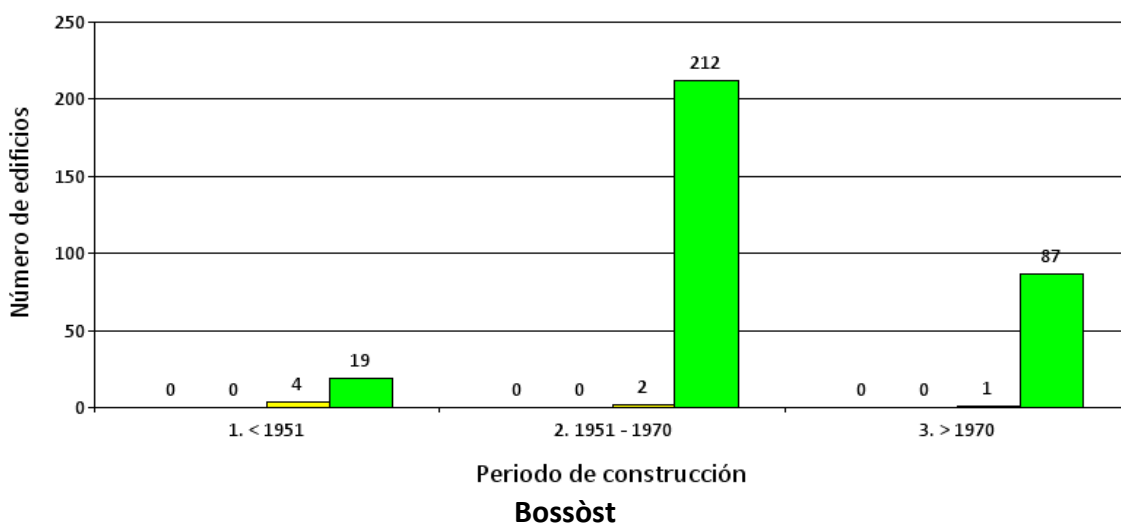
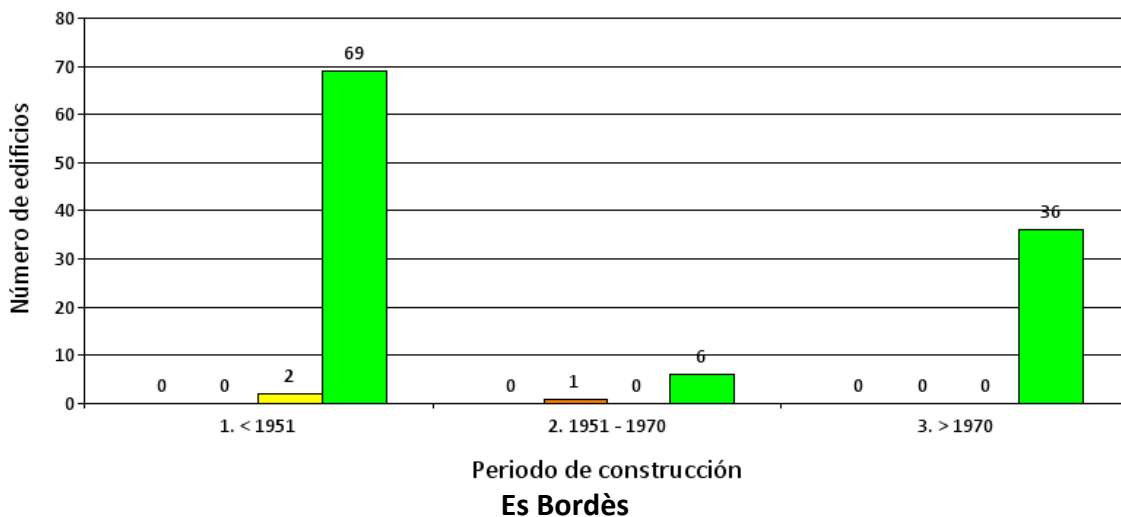
Plantas por periodo
Vilamòs

Estado de conservación

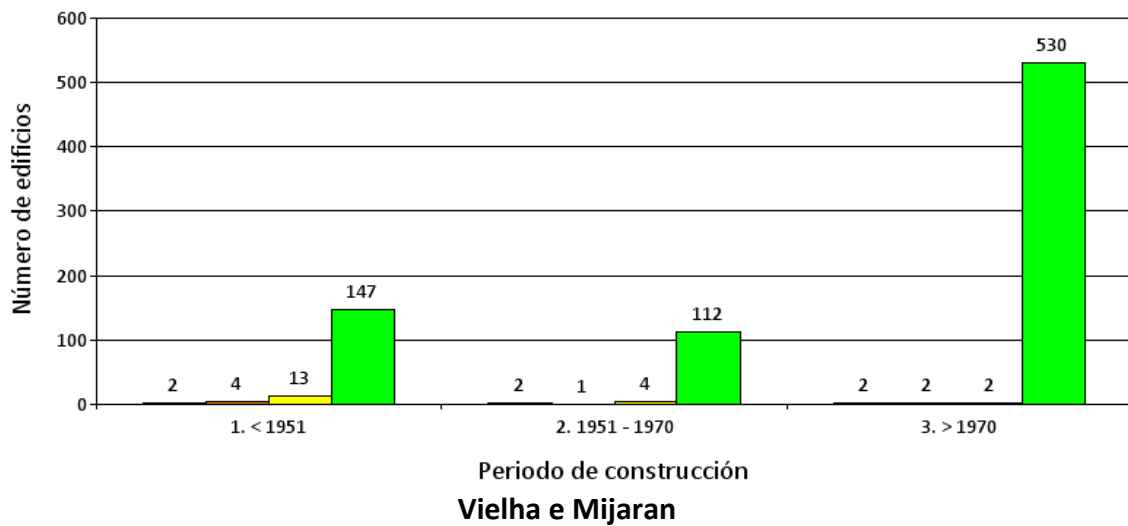
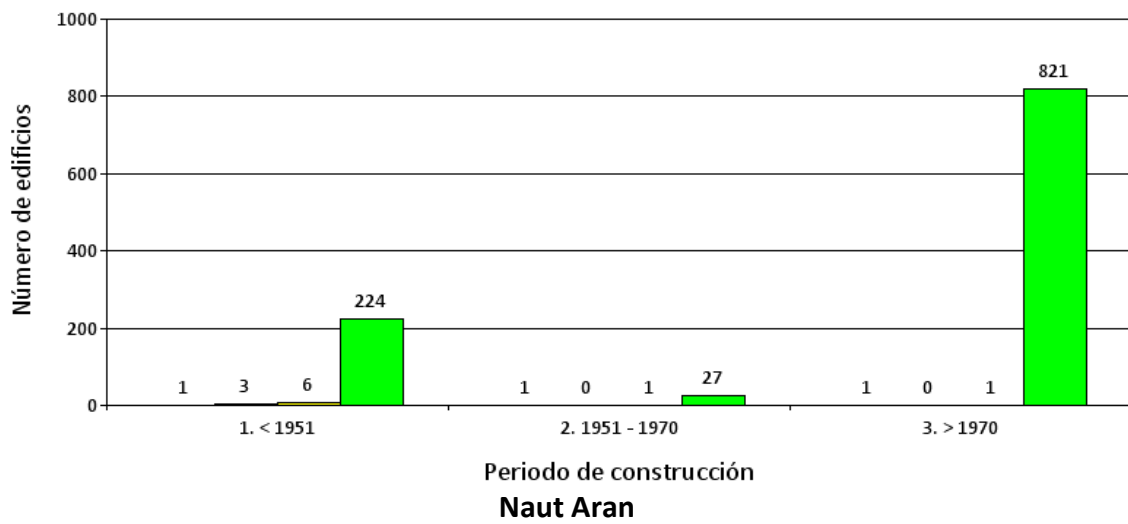
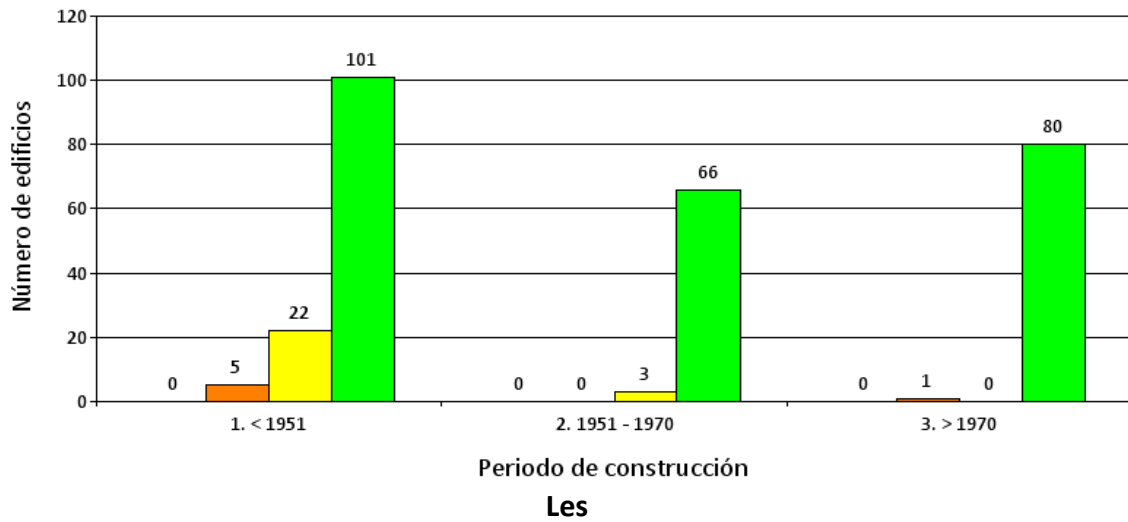
A continuación, se muestran los gráficos con el estado de conservación de los edificios para cada municipio. En ellos se diferencian cuatro estados de conservación (ruinoso, mal, deficiente y bien), representados en base a la siguiente leyenda:

LEYENDA (estado de conservación) ■ EST_RUI ■ EST_MAL ■ EST_DEF ■ EST_BIEN

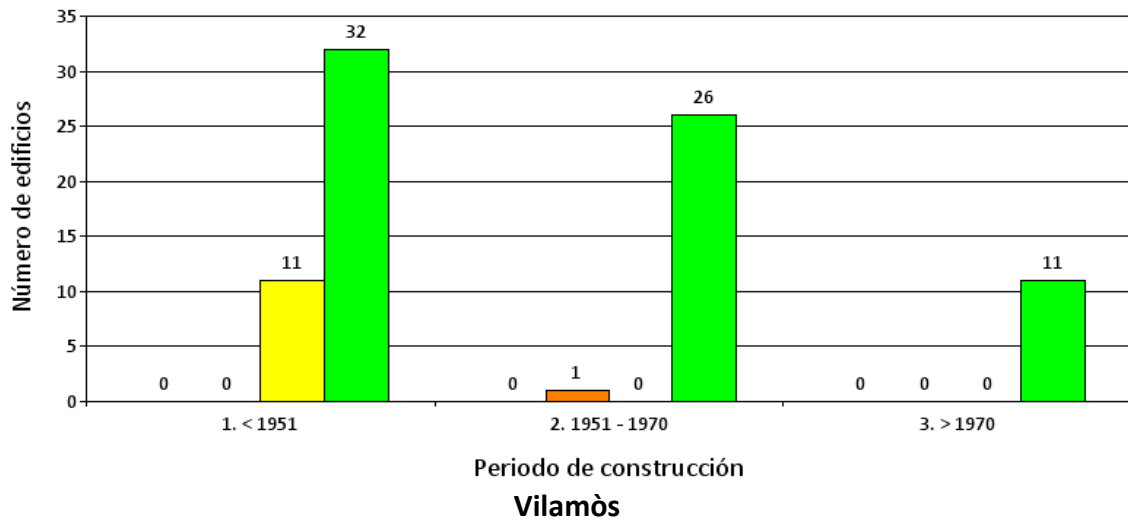




LEYENDA (estado de conservación) ■ EST_RUI ■ EST_MAL ■ EST_DEF ■ EST_BIEN



LEYENDA (estado de conservación) ■ EST_RUI ■ EST_MAL ■ EST_DEF ■ EST_BIEN



LEYENDA (estado de conservación) ■ EST_RUI ■ EST_MAL ■ EST_DEF ■ EST_BIEN