

Universitat Politècnica de Catalunya
Departament D'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica

Evaluación del riesgo sísmico en el Principado de Andorra

Tesis doctoral

Autora:

Marta González Díaz

Directores:

Dra. Teresa Susagna Vidal

Dr. Lluís G. Pujades Beneit

Barcelona, Marzo de 2010

Agradecimientos

Posiblemente, escribir los agradecimientos de una tesis sea una de las partes más delicadas de todo el proceso de redacción de la memoria final, simplemente, por miedo a olvidarte de las personas que te han ayudado y te han apoyado durante tantos años. ¡Ojalá esto no ocurra! Pero, si finalmente sucede, pido perdón de antemano.

Deseo expresar mi agradecimiento a la Dra. Teresa Susagna y al Dr. Lluís Pujades, directores de esta tesis, por su ayuda, por su interés, y por el esfuerzo realizado en el proceso de redacción y revisión de la memoria. También quisiera agradecer al Dr. Xavier Goula los ánimos que me dio para embarcarme en este proyecto, por su ayuda y por darme la oportunidad de participar en el proyecto ISARD. Al mismo tiempo quisiera agradecer al Dr. Antoni Roca su apoyo, sus consejos y su buena disposición siempre que lo he necesitado.

Mi más sincero agradecimiento a Amelia Calonge, David Brusi, Pedro Alfaro, Teresa Morán y Montserrat Vehí, porque un día, cuando estaba perdida y a punto de tirarlo todo por la borda, os encontré. Gracias por vuestra generosidad, porque sin vosotros, sin vuestra amistad, sin vuestros ánimos, sin vuestros consejos, sin vuestra ayuda, sin tantas ..., ahora, no estaría escribiendo estos agradecimientos.

A Ester Armengol y Meritxell Martín, por vuestra amistad, por vuestro cariño, por creer en mí, y por no dejarme desistir. Gracias a vosotras mereció la pena mi “historia andorrana”.

A Anna Busquets, por transmitirme su pasión por la geología y a Emma Suriñach, por su confianza y por darme la oportunidad de trabajar en lo que más me gustaba. Sin vosotras no estaría ahora en esta fase. A Justina Chávez, ¡contigo empezó todo!, gracias por transmitirme tus conocimientos.

A Francesc Areny y Eron Estany, por el afecto con el que habéis apoyado este proyecto, por vuestra inestimable ayuda cada vez que he necesitado algún dato que estuviera a vuestro alcance y sobre todo por vuestra amistad.

Asimismo, quisiera dar mi agradecimiento al Govern d’Andorra y a los responsables de los Departamentos de Urbanismo de los *Comuns* de las parroquias de Andorra por facilitarme parte de los datos de los Planes de Ordenación Urbanística Parroquial (POUP).

A mis compañeros del *Institut Geològic de Catalunya*, en especial a Carme Olivera, Sara Figueras, Tanit Frontera, Pere Valls y Mariona Losantos por todo su apoyo. A mis compañeros del proyecto ISARD, en especial a Albert Macau y Janira Irizarry por toda su ayuda.

A todos los amigos que tuve que decir NO, cuando quería decir SI. A Sara y Sebastián, por estar siempre pendientes, por su amistad y por desplazarse a visitarme para facilitar mi dedicación a la Tesis. A Mónica, por ayudarme a deshojar la margarita, ¿sabes? la margarita dijo SI, por escucharme y apoyarme siempre, y por no permitirme dejar las cosas de las que más tarde pudiera arrepentirme. A Lulu y Alberto, a Marga, a Susu, Lasa, Luis y Silvia por mi silencio. A todos mis amigos en la distancia: a mi Vero Vero, a Nini, a Julia, a Belén y Jorge, a Upe y Pedro, a Berta y Pablo, a Norberto y Marta, a Ana Saez y Marcelo, y en especial a Amalia, Elena, Maria y su familia, porque la distancia nos ha hecho perdernos muchas cosas, a veces buenas y a veces no tanto.... Porque nunca me sentí sola con vuestras llamadas telefónicas. ¡A todos mil gracias!

No podía acabar estos agradecimientos sin unas palabras a mi “pequeña familia” del *Àrea d'Enginyeria Geològica i Risc* del *Institut Geològic de Catalunya*. En especial a mis Jordi's (Pinyol, Piña, Marturià, Ripoll), a los Pere's (Martinez y Oller), a Neus y Aline, a Consol, a Nacho, a Glòria y Carles y a Olga. Gracias por vuestro apoyo, por vuestra ayuda, por vuestros consejos, y por supuesto, por todos los buenos momentos que pasamos trabajando juntos, que me han permitido llegar a casa y trabajar en mis “otras labores”.

Y por último, mi más profundo agradecimiento a mi familia, a mis padres Rosa y Nino, a mi hermano Cesar y a Marta, a Raquel, mi alma gemela (¡¡Reichel!, ya sabes que lo mío también es tuyo!), a Antonio (¡Antoñito! ¡Qué paciencia la tuya!), a mis abuelas y al resto de familiares, por enseñarme que sin esfuerzo nada sale adelante, por animarme siempre a continuar y por cuidarme y quererme como soy. ¡Gracias!

Parte de este trabajo (la zona de la *cupeta de Andorra*) se realizó desde el *Centre de Recerca en Ciències de la Terra* (CRECIT) del *Institut d'Estudis Andorrans*, y se enmarcó dentro del proyecto ISARD del programa INTERREGIIIa entre Francia-España.

Resumen

La combinación de los estudios de peligrosidad y de vulnerabilidad permite simular escenarios de daño, con dos utilidades principales: 1) antes del sismo, como herramienta para políticas de prevención ante desastres sísmicos y, 2) después, en la fase de emergencia, como herramientas de distribución de información sobre los daños que puede haber causado el terremoto. Con este objetivo se ha realizado la evaluación del riesgo sísmico del Principado de Andorra. Su alta densidad de población, la elevada concentración de edificios de vivienda, su red de carreteras y su situación particular entre dos países a la hora de gestionar la eventual emergencia, entre otras particularidades del país, hacen que el Principado tenga un riesgo entre moderado y elevado; no tanto por la peligrosidad sísmica de la zona, que es entre baja y moderada, sino por las peculiaridades del país y por los elementos en riesgo.

El trabajo se ha estructurado en dos partes: en la primera, se propone una metodología sencilla para la elaboración de bases de datos de edificación útiles para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en zonas donde no se dispone de esta información. En la segunda, se efectúa el estudio de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de vivienda y se definen y analizan los escenarios sísmicos.

La vulnerabilidad del parque de edificios de vivienda se ha evaluado con dos métodos estadísticos, uno basado en clases de vulnerabilidad y otro basado en índices de vulnerabilidad. Ambos métodos coinciden en la definición del movimiento del suelo mediante la intensidad macrosísmica de la escala EMS'98 y difieren en la forma de caracterizar la resistencia sísmica de los edificios. En el primer método la asignación de un edificio o conjunto de edificios a una clase de vulnerabilidad es sencilla y directa y no requiere información detallada del edificio a evaluar. El segundo, permite clasificar cualquier edificio, o grupo de edificios, mediante un número, un índice, que toma valores en un rango entre cero, para edificios muy resistentes, y la unidad, para edificios de muy mala calidad; de esta forma la calificación de edificios es más sofisticada y requiere un mayor conocimiento, frecuentemente experto, de las características constructivas de los edificios.

Los resultados obtenidos de aplicar ambas metodologías indican que el Principado está caracterizado por edificios asociados a las clases B y C, en una escala entre A, muy vulnerable y E, muy resistente, y a unos índices de vulnerabilidad entre 0.82 y 0.50. A nivel general la metodología del índice de vulnerabilidad muestra una vulnerabilidad más baja del parque de edificios de vivienda que la obtenida por el método basado en clases de vulnerabilidad.

Se han definido tres escenarios sísmicos para la realización de simulaciones de daño, uno determinista, análogo al terremoto de 1428 del Ripollès, y dos probabilistas, caracterizados por sus periodos de retorno de 475 y 1975 años. Para un suelo de tipo medio las intensidades macrosísmicas de estos tres escenarios son VI-VII, VII y VIII respectivamente. Para la cubeta de Andorra se han efectuado análisis de mayor detalle considerando los efectos de suelo. Como es obvio, el escenario más desfavorable es el probabilista de intensidad VIII. Para este escenario, el menor daño se obtiene en la parroquia de Sant Julià de Lòria con un grado de daño medio Leve y el mayor nivel de daño se espera en Andorra la Vella con un grado de daño medio entre Leve y Moderado. Por polígonos el estado de daño medio global varía entre Leve en el polígono de la Comella y Moderado para el polígono de Els Plans - Ransol - L'Aldosa.

Los resultados de la generación de escenarios de daño teniendo en consideración los mapas de microzonación sísmica ponen de manifiesto la importancia de considerar los efectos de suelo en las estimaciones de daño orientadas a prevención y protección sísmicas y a la planificación y gestión de la emergencia.

Abstract

The combination of risk and vulnerability studies allows the simulation of damage scenarios whose results are useful in two senses: 1) before the earthquake, as a tool to develop policies for disaster prevention and, 2) after the earthquake, in the emergency phase, as a tool to distribute the information regarding the possible damage that could have caused the earthquake. The assessment of seismic risk in the Principality of Andorra has been developed focusing on this purpose. The Principality's high population density, its high concentration of residential buildings, its roads network, and its special location between two countries when managing the emergency in times of crisis, between other particularities of this country, make that the Principality has a high risk, not by the actual seismic hazard in the area, characterized by low to moderate seismicity, but by its large number of elements in risk.

This work is structured in two parts: in the first part, a simple methodology to develop the edification databases useful for seismic vulnerability assessment in the areas where this information is not available is created. In the second part, the seismic vulnerability of residential buildings is evaluated and seismic scenarios for the simulation of damage scenarios are defined.

The vulnerability of current buildings has been evaluated with two statistical methods, a first one based in vulnerability classes and a second one based in vulnerability index. Both methods define the action in terms of macroseismic intensity of the scale EMS'98. The first method defines the building, or group of buildings, by vulnerability classes, the second defines the building or group of buildings, by a vulnerability index. In the first method the assignment of a building to a vulnerability classes is simple, and does not require detailed information of the building. The second method allows to classify a building or group of buildings with a number (vulnerability index). This index ranges between 0 and 1, values close to 0 correspond to the buildings with high resistance, and values close to 1 for the most vulnerable buildings. This methodology is more sophisticated and requires a tailed information about the characteristics of the buildings.

The results of applying both methodologies indicate that the Principality is characterized by buildings associated with the vulnerability classes B and C, and a vulnerability index between 0.82 and 0.50. The methodology of the vulnerability index shows a lower vulnerability than the one obtained by the vulnerability classes method.

Three seismic scenarios have been defined to the evaluation of damage, one deterministic, like and earthquake occurred in the Ripollès in 1428, and two probabilistic with return periods of 475 and 1975 years. In the basin of Andorra the purpose has been to study the influence of soil effects in the damage scenarios simulation he soil effects have been taken into account.

The most unfavourable scenario is the probabilistic with return period of 1975 years where the mean damage state varies from slight damage for Sant Julià de Lòria and moderate damage to Andorra la Vella. The distribution of the mean damage state by polygons varies between slight to moderate for la Comella and Els Plans - Ransol - L'Aldosa respectively.

The results of the creation of damage scenarios considering seismic microzonation maps highlights the importance to incorporate these data in the evaluating of buildings and population for the best prevention and emergency planning.

The results of the generation of damage scenarios taking into account seismic microzonation maps highlight the importance of considering the effects of soil in the estimation of the damage oriented to the correct seismic prevention and protection, planning and emergency management.

Índice

1	Introducción	1
1.1	Presentación.....	1
1.2	Antecedentes de estudios realizados en el Principado de Andorra	2
1.2.1	El proyecto ISARD	2
1.3	Motivación.....	3
1.4	Objetivos.....	4
1.5	Metodología	6
1.6	Contenido de la memoria	7
2	El Principado de Andorra: Características del territorio y elementos en riesgo	11
2.1	Introducción	11
2.2	Geografía y Geología	11
2.2.1	Geografía	11
2.2.2	Geología.....	12
2.3	Economía.....	13
2.3.1	Evolución en el siglo XX.....	13
2.3.2	Situación actual.....	14
2.3.3	Factores urbanísticos	17
2.4	Organización del Territorio.....	18
2.4.1	Organización administrativa	18
2.4.2	Unidades de estudio: parroquias y polígonos	20
2.5	Población	25
2.5.1	Población residente.....	26
2.5.2	Población flotante y presión humana.....	29
2.5.3	Plazas hoteleras.....	29
2.6	Otros datos	30
2.6.1	Superficie media por vivienda	30
2.6.2	Coste de la construcción	35
2.6.3	Carreteras	35
2.6.4	Otros elementos en riesgo	36
2.7	Resumen	37
3	Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica	39

3.1	Introducción	39
3.2	Metodología basada en clases de vulnerabilidad según la escala EMS'9840	
3.2.1	Características generales del método.....	40
3.2.2	Matriz de edificios y vulnerabilidad	41
3.2.3	Las matrices de probabilidad de daños	43
3.2.4	Estimación del daño esperado en un grupo de edificios	45
3.3	Metodología basada en índices de vulnerabilidad	47
3.3.1	Características generales del método.....	47
3.3.2	La matriz de tipologías de edificios (BTM)	48
3.3.3	Desarrollo de los índices de vulnerabilidad.....	49
3.3.4	Aplicación del método	50
3.3.5	Estimación del daño físico a los edificios.....	53
3.4	Resumen	56
4	Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico.....	57
4.1	Introducción	57
4.2	Antecedentes y metadatos.....	59
4.2.1	Bases cartográficas.....	60
4.2.2	Los Planes de Ordenación Urbanística Parroquial (POUP)	64
4.2.2.1	Canillo	65
4.2.2.2	Encamp.....	66
4.2.2.3	Ordino	67
4.2.2.4	La Massana.....	69
4.2.2.5	Andorra la Vella.....	69
4.2.2.6	Sant Julià de Lòria.....	69
4.2.2.7	Escaldes-Engordany	70
4.3	Bases de datos de edificación.....	71
4.3.1	Épocas	71
4.3.1.1	1ª Época: Cartografía de base.....	71
4.3.1.2	2ª Época: Fotografías aéreas y ortofotomapas	72
4.3.1.3	3ª Época: Trabajo de campo	72
4.3.2	Muestreo	73
4.3.3	Estructura de los datos sobre edificación	76
4.3.4	Tratamiento estadístico	82

4.3.4.1	Clases de vulnerabilidad según la escala EMS'98.....	82
4.3.4.2	Índices de vulnerabilidad. Risk-ue.....	84
4.3.5	Bases de datos finales.....	87
4.4	Resumen y discusión.....	87
5	Peligrosidad sísmica en el Principado de Andorra para la estimación del riesgo. 89	
5.1	Introducción.....	89
5.2	Sismicidad.....	90
5.3	Mapas de peligrosidad sísmica de la región.....	94
5.3.1	Homogeneización de las bases de datos sísmicos.....	95
5.3.2	Modelos sismotectónicos.....	96
5.3.3	Modelo de atenuación.....	97
5.3.4	Evaluación probabilista.....	97
5.3.5	Peligrosidad local.....	97
5.4	Escenarios sísmicos.....	100
5.4.1	Escenarios básicos: consideración de un suelo tipo medio.....	100
5.4.1.1	Escenarios probabilistas (T=475 años y T=1975 años).....	101
5.4.1.2	Escenario determinista.....	102
5.4.2	Escenarios zonificados: consideración de efectos de suelo.....	104
5.4.2.1	Escenarios probabilistas (T=475 años y T= 1975 años).....	104
5.4.2.2	Escenario determinista.....	105
5.5	Resumen.....	106
6	Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de vivienda del Principado de Andorra..... 109	
6.1	Introducción.....	109
6.2	Clasificación de las edificaciones en clases de vulnerabilidad sísmica... 109	
6.2.1	Distribución de las clases de vulnerabilidad por parroquias.....	110
6.2.2	Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígono.....	113
6.3	Clasificación de las edificaciones en índices de vulnerabilidad.....	115
6.3.1	La matriz tipológica de los edificios.....	116
6.3.2	Distribución de las tipologías estructurales por polígono.....	117
6.3.3	Índices de vulnerabilidad básicos.....	120
6.3.4	Modificadores del índice de vulnerabilidad.....	121
6.3.5	Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígono.....	122

6.4	Comparación entre las distribuciones de vulnerabilidad obtenidas.....	124
6.5	Resumen y discusión	125
7	Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de andorra	127
7.1	Introducción	127
7.2	Aspectos metodológicos	128
7.2.1	Daño a los edificios	129
7.2.1.1	Grado de daño medio	129
7.2.1.2	Clasificación del daño.....	131
7.2.2	Daño a la población.....	132
7.2.2.1	Estimación del daño a la población utilizando el método ATC-13133	
7.2.2.2	Estimación del daño a la población utilizando el método Coburn y Spence (1992)	134
7.2.3	Pérdidas económicas	135
7.3	Escenarios daños	137
7.3.1	Metodología de Clases de vulnerabilidad	137
7.3.1.1	Estimación de daños a partir de un escenario determinista	137
7.3.1.2	Estimación de daños a partir del mapa probabilista de período de retorno de 475 años.....	140
7.3.1.3	Estimación de daños a partir del mapa probabilista de período de retorno de 1975 años.....	142
7.3.2	Metodología del índice de vulnerabilidad	144
7.3.2.1	Estimación de daños para un escenario determinista.....	144
7.3.2.2	Estimación de daños a partir del mapa probabilista de período de retorno de 475 años.....	146
7.3.2.3	Estimación de daño a partir del mapa probabilista de período de retorno de 1975 años.....	148
7.3.3	Pérdidas económicas	151
7.4	Escenarios para la <i>cupeta de Andorra</i> teniendo en cuenta efectos de suelo.....	152
7.4.1	Daño a los edificios de la <i>cupeta de Andorra</i> considerando efectos de suelo	155
7.4.2	Daño a la población.....	157
7.5	Comparación de las metodologías de evaluación del daño a los edificios.....	158
7.6	Resumen y discusión	160
8	Resumen, conclusiones y recomendaciones	163
8.1	Introducción	163

8.2	Resumen y conclusiones	163
8.2.1	Metodología para la elaboración de bases de datos de edificios de vivienda para la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica.	163
8.2.2	Base de datos de edificación del Principado de Andorra	164
8.2.3	Metodologías utilizadas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Principado de Andorra	165
8.2.4	Evaluación de la vulnerabilidad sísmica	165
8.2.5	Peligrosidad y escenarios sísmicos	167
8.2.6	Escenarios de daños	168
8.3	Recomendaciones y líneas futuras.....	170
8.3.1	Recomendaciones y propuestas de investigación sobre los métodos de evaluación de la vulnerabilidad	170
8.3.1.1	Respecto a la base de datos	170
8.3.1.2	Respecto a los métodos de evaluación de la vulnerabilidad	171
8.3.1.3	Respecto a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de otros tipos de edificaciones e infraestructuras.....	173
8.3.2	Recomendaciones y propuestas de investigación sobre la peligrosidad sísmica	175
8.3.3	Recomendaciones y propuestas de investigación sobre los escenarios de daños.....	175
8.3.4	Otras recomendaciones	176
9	Referencias	177
10	Anexo 1. El proyecto ISARD	189
10.1	Introducción	189
10.2	Organismos participantes en el proyecto	189
10.3	Objetivos del proyecto.....	190
10.4	Estructuración del proyecto.....	190
10.4.1	Módulo 1: Zonación sísmica transfronteriza y unificada de los Pirineos.....	190
10.4.2	Módulo 2: Realización de un escenario sísmico. Aplicación al Valle de la Cerdaña y la cubeta de Andorra.....	191
10.4.3	Módulo 3: Sistema automático de estimación de daños.	191
10.4.4	Módulo 4: Difusión de la información.....	192
10.5	Resultados.....	192
11	Anexo 2. Tabla con los datos sobre las unidades de estudio: Las parroquias y los polígonos.....	195

12	Anexo 3. Breve descripción de la Escala Macrosísmica Europea (EMS'98)	199
12.1	Clasificación de las edificaciones en clases de vulnerabilidad	199
12.2	Descripción de los grados de daño	200
12.3	Definición de cantidad.....	202
12.4	Definición de los grados de intensidad	202
13	Anexo 4. Clasificación de los usos de los edificios y de las tipologías estructurales y bases de datos.....	207
13.1	Clasificación de edificios Building Typology Matrix (BTM).....	207
13.2	Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de clases de vulnerabilidad.	215
13.3	Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de los índices de vulnerabilidad.....	219
14	Anexo 5. Análisis de la vulnerabilidad	223
14.1	Tabla 5.1. Comparación entre clases e índices de vulnerabilidad	225
14.2	Distribución de las clases de vulnerabilidad por parroquia	229
14.3	Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos.....	231
14.4	Comparación de la distribución de las clases de vulnerabilidad por polígono/parroquia.....	235
14.5	Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos.....	241
14.6	Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígono.....	243
14.7	Comparación entre clases e índices de vulnerabilidad	249
15	Anexo 6. Resultados	256

Lista de figuras

Figura 1.1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada.	7
Figura 2.1. Modelo de elevaciones del Principado de Andorra.	12
Figura.2.2. Mapa geológico de Andorra (CRECIT, 2002).	15
Figura 2.3. Mapa geomorfológico de Andorra (CRECIT, 2005).	16
Figura 2.4. División parroquial de Andorra. Con un punto rojo la situación del Comú.	19
Figura 2.5. Núcleos de población del Principado.	20
Figura 2.6. Definición de los polígonos para el Principado de Andorra.	22
Figura 2.7. Tipos de polígonos según la concentración de edificios.	23
Figura 2.8. Habitantes por polígonos.	23
Figura 2.9. Edificios de vivienda por polígono.	24
Figura 2.10. Habitantes por edificio.	24
Figura 2.11. Polígonos para la parroquia de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany.	25
Figura 2.12. Distribución de la población residente del Principado por parroquias.	27
Figura 2.13. Distribución de la población residente de Andorra para todos los núcleos de las parroquias (Govern d'Andorra, 2003).	27
Figura 2.14. Evolución de la población en el principado de Andorra. Fuentes: J.M Bricall et al. (1975); M Palau (1978); B. Adellach y R. Ganyet (1977); M.J. Lluelles (1991). Estadístiques de població del Ministeri de Justícia i Interior.	28
Figura 2.15a. Distribución para la parroquia de Canillo de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.	32
Figura 2.15b. Distribución para la parroquia de Encamp de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.	33
Figura 2.15c. Distribución para la parroquia de la Massana de los porcentajes de	

edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.	33
Figura 2.15d. Distribución para la parroquia de Andorra la Vella de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.	33
Figura 2.15e. Distribución para la parroquia de Ordino de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.	34
Figura 2.15f. Distribución para la parroquia de Escaldes-Engordany de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.	34
Figura 2.15g. Distribución para la parroquia de Sant Julià de Lòria de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.	34
Figura 2.16. Principales vías de comunicación del Principado.	35
Figura 2.17. Ejemplo de situación de algunos de los edificios de especial importancia de la cubeta de Andorra la Vella evaluados en el proyecto ISARD.	36
Figura 3.1. Clases de vulnerabilidad de la escala EMS 98.	42
Figura 3.2. Matriz de probabilidad de daño para la intensidad VII.	47
Figura 3.3. Funciones de pertenencia de un edificio a las clases de vulnerabilidad (ver Tabla 3.4).	50
Figura 3.4. Curvas de grado de daño medio para las principales tipologías de la zona.	55
Figura 4.1. Ejemplo del Mapa de crecimiento urbano para la parroquia de Andorra la Vella. A la izquierda se muestra su estado a principios del siglo XX y a la derecha en 1978. Extraído de Batlle (1978).	60
Figura 4.2. Hojas 1:5.000 de la base cartográfica digital de Andorra. En ella están señalados los límites de parroquia (no oficiales), los números que corresponden a cada hoja (base cartográfica digital y ortofotomapas).	63
Figura 4.3. Datos extraídos del Comú de Canillo.	66

Figura 4.4. Ejemplo de ficha de los edificios patrimoniales, extraídos del Comú de Ordino.	68
Figura 4.5. Ejemplo de ficha de los edificios actuales, extraídos del Comú de Ordino.	68
Figura 4.6. Ejemplo del catastro de Andorra la Vella (Documento interno del Comú d'Andorra la Vella).	69
Figura 4.7. Ejemplo del Mapa de crecimiento urbano para la parroquia de Escaldes-Engordany.	71
Figura 4.8. Ejemplo de la capa de polígonos para la parroquia de Escaldes-Engordany.	72
Figura 4.9. Ejemplo de la libreta de campo de las visitas realizadas.	73
Figura 4.10. Distribución normal, valores: σ 1 σ , σ 2 σ y σ 3 σ .	74
Figura 4.11. Recorridos realizados en las parroquias de Andorra la Vella y de Escaldes-Engordany.	75
Figura 4.12. Recorridos realizados en la parroquia de Escaldes-Engordany. Los colores indican los recorridos en cada polígono, en verde y rojo para los polígonos de Escaldes.	76
Figura 4.13. Distribución de la edad de los edificios para las parroquias de Andorra la Vella - Escaldes-Engordany.	79
Figura 4.14. Distribución del número de plantas de los edificios para las parroquias de Andorra la Vella - Escaldes-Engordany.	80
Figura 4.15. Distribución del uso de los edificios para las parroquias de Andorra la Vella - Escaldes-Engordany.	81
Figura 4.16. Distribución de los edificios por edades para las 7 parroquias del Principado.	83
Figura 4.17. Distribución de los edificios por alturas para las 7 parroquias del Principado.	83
Figura 4.18. Tipologías constructivas presentes en Andorra.	84

Figura 5.1. Sismicidad del Pirineo basada en el Catálogo unificado (Secanell et al., 2008).	91
Figura 5.2a. Terremoto del 14 de marzo de 1970 a las 15:48 horas (T.U).	92
Figura 5.2b. Terremoto del 16 de marzo de 1970 a las 06:26 horas (T.U).	92
Figura 5.3. Zonación sismotectónica unificada	96
Figura 5.4. Mapas de peligrosidad sísmica para periodos de retorno de 475 y 1975 años respectivamente, en intensidades.	98
Figura 5.5. Zonación de la cubeta de Andorra la Vella en función de la amplificación del suelo en términos de intensidad (Macau et al., 2006).	100
Figura 5.6. Mapa de peligrosidad sísmica para un periodo de retorno de 475 años, en intensidades. Extraído de ISARD (http://www.isard-proect.eu).	101
Figura 5.7. Mapa de peligrosidad sísmica para un periodo de retorno de 1975 años, en intensidades. Extraído de ISARD (http://www.isard-proect.eu).	102
Figura 5.8. Intensidades observadas y epicentro del 2 de febrero de 1428 de Olivera et al, 2006.	103
Figura 5.9. Mapa de intensidades simuladas de un terremoto compatible con el del 2 de febrero de 1428.	103
Figura 5.10. Detalle del mapa de intensidades simuladas de un terremoto compatible con el del 2 de febrero de 1428.	104
Figura 5.11. Mapa de peligrosidad local de la cubeta de Andorra la Vella en función de la intensidad macrosísmica esperada para $T = 475$ años (Macau et al., 2007).	105
Figura 5.12. Zonación de la cubeta de Andorra la Vella en función de la intensidad macrosísmica probablemente percibida en el sismo de 2 de Febrero de 1428 considerando los efectos locales (Macau et al., 2007).	106
Figura 6.1. Distribución de las clases de vulnerabilidad de los edificios de vivienda del Principado de Andorra por parroquias. N es el valor del número de edificios por parroquia que se ha tenido en cuenta en el estudio.	111
Figura 6.2. Clasificación de la vulnerabilidad del Principado de Andorra en función del porcentaje de clases de vulnerabilidad A, B, C y D, según la tabla 6.2.	113

Figura 6.3. A la izquierda el polígono más vulnerable (AD700), a la derecha el menos vulnerable (AD6003). En barras la distribución para el polígono y con una línea la tendencia general de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para dicho polígono.	114
Figura 6.4. Clasificación de la vulnerabilidad del Principado de Andorra, en función del porcentaje de clases de vulnerabilidad A, B, C y D, según la Tabla 6.3 para los polígonos.	116
Figura 6.5. Distribución de las tipologías estructurales por parroquias.	119
Figura 6.6. Relación entre las clases de vulnerabilidad de la escala EMS '98 y los índices de vulnerabilidad.	123
Figura 6.7. Distribución del índice de vulnerabilidad medio por polígonos.	123
Figura 6.8. Comparación de las clases de vulnerabilidad media, en amarillo los resultados obtenidos a partir de la metodología de clases de vulnerabilidad, en naranja los resultados obtenidos a partir de la metodología de índices de vulnerabilidad para las parroquias.	124
Figura 7.1. Funciones semi-empíricas de vulnerabilidad para las tipologías más representativas de la zona.	131
Figura 7.2. Habitantes por edificio para cada parroquia.	132
Figura 7.3. Habitantes por edificio para cada polígono.	133
Figura 7.4. Distribución de los edificios inhabitables para el escenario determinista considerado.	139
Figura 7.5. Distribución de las personas sin hogar para el escenario determinista considerado, según ATC-13.	139
Figura 7.6. Distribución de los edificios inhabitables para el escenario probabilista (T=475 años), según ATC-13.	141
Figura 7.7. Distribución de las personas sin hogar a partir del mapa probabilista (T=475 años), según ATC-13.	141
Figura 7.8. Distribución de los edificios inhabitables a partir del mapa probabilista (T=1975 años), según ATC-13.	143
Figura 7.9. Distribución de las personas sin hogar a partir del mapa probabilista	

(T=1975 años), según ATC-13.	143
Figura 7.10. Grado de daño medio por polígono para el escenario determinista considerado.	144
Figura 7.11. Distribución de las personas sin hogar para el escenario determinista considerado, según ATC-13.	145
Figura 7.12. Grado de daño medio por polígono a partir del mapa probabilista con T=475 años.	147
Figura 7.13. Distribución de las personas sin hogar a partir del mapa probabilista (T= 475años), según ATC-13.	148
Figura 7.14. Grado de daño medio por polígono para el mapa probabilista con T=1975 años.	149
Figura 7.15. Distribución de edificios inhabitables a partir del mapa probabilista (T=1975 años), en número de edificios.	150
Figura 7.16. Distribución de personas sin hogar partir del mapa probabilista (T=1975 años), en número de edificios, según ATC-13.	150
Figura 7.17. Microzonación sísmica de la cubeta de Andorra la Vella - Escaldes-Engordany en términos del incremento de intensidad respecto al valor de un suelo de referencia (Macau et al., 2006, 2008).	153
Figura 7.18. Cruce de los polígonos de la cubeta con el mapa de microzonación sísmica.	154
Figura 7.19. Grados de daño medio para cada escenario considerado.	156
Figura 7.20. Comparación de los grados de daños de los edificios (en %) para los diferentes escenarios y con las diferentes metodologías para la parroquia de Escaldes-Engordany.	160

Lista de tablas

Tabla 2.1. Divisiones para la parroquia de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany, ver figura 2.11.	21
Tabla 2.2. Evolución de la población por parroquias del 1932 al 2003. Datos extraídos de Comas y Pujadas (1997) y de los Anuaris socioeconòmics (1996-2005).	28
Tabla 2.3. Población flotante y número de personas / día extraído de Oliveres et. al., 2005.	29
Tabla 2.4. Nivel de ocupación hotelera, en %, en el ejercicio 2002-2003.	30
Tabla 2.5. Tipos de vivienda por superficie de vivienda.	31
Tabla 2.6. Distribución de las viviendas por superficie de vivienda, ejemplo de la parroquia de Andorra la Vella. Ministeri d'Ordenament Territorial del Govern d'Andorra, 2006.	31
Tabla 2.7. Superficie media por vivienda en las diferentes parroquias.	32
Tabla 3.1. Clasificación de los edificios de vivienda en clases de vulnerabilidad usada en este estudio. La clasificación se basa en la escala macrosísmica EMS'98, Las clases de vulnerabilidad A, B y C corresponden a las definidas en la Figura 3.1 (Chávez, 1998).	44
Tabla 3.2. Matrices de probabilidad de daños para las Clases de vulnerabilidad A, B, C y D, Chávez (1998).	44
Tabla 3.3. Edificios considerados en la Matriz de tipologías de edificios (BTM) propuesta por Risk-ue (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	49
Tabla 3.4. Límites de las funciones de pertenencia a cada clase de vulnerabilidad. Se indican los intervalos plausibles y posibles.	50
Tabla 3.5. Índices de vulnerabilidad propuestos para los edificios de la Matriz de tipologías BTM de Risk-UE. (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	52
Tabla 3.6. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad por comportamiento para los edificios de mampostería. (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).	53

Tabla 3.7. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad por comportamiento para los edificios de hormigón Armado. En este caso también se considera el nivel de diseño sismorresistente del edificio (Milutinovic y Trendafiloski, 2003)	54
Tabla 4.1. Inventario de las cartografías existentes y en que formato están disponibles.	62
Tabla 4.2. Cartografía oficial de Andorra. Govern d'Andorra. Ministeri d'Ordenament Territorial. Àrea de Cartografia i Topografia. Año 1995 y 2003.	64
Tabla 4.3. Datos extraídos del Comú de Canillo.	65
Tabla 4.4. Datos extraídos del Comú de Encamp.	67
Tabla 4.5. Datos extraídos del Comú d' Escaldes-Engordany.	70
Tabla 4.6. Probabilidades comprendidas en los intervalos con distribución normal de: $\sigma 1\sigma$, $\sigma 2\sigma$ y $\sigma 3\sigma$.	74
Tabla 4.7. Porcentaje de los edificios a encuestar en función de la distribución y el error escogido para las parroquias de Andorra la Vella y Escades-Engordany.	75
Tabla 4.8. Información recogida para la base de datos de edificación.	77
Tabla 4.9. Distribución por parroquias de las edades y alturas de los edificios según la clasificación propuesta por Chávez (1998), en porcentajes.	82
Tabla 4.10. Periodos de construcción de las diferentes tipologías constructivas en Andorra.	85
Tabla 4.11. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5001 (Andorra - Santa Coloma).	85
Tabla 4.12. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5002 (Andorra).	86
Tabla 4.13. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5003 (Eixample).	86
Tabla 4.14. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5004 (La Comella).	87
Tabla 5.1. Sismos más importantes del Principado de Andorra (Susagna y Goula,	

1999).	92
Tabla 5.2. Terremotos instrumentales de la zona en el periodo 1984-2009. Datos extraídos de los Butlletins Sismològics del Servei Geològic - Institut Cartogràfic de Catalunya (Actualmente Institut Geològic de Catalunya).	93
Tabla 5.3. Catálogos macrosísmicos históricos y de la época instrumental existentes en la zona.	95
Tabla 5.4. Escenarios sísmicos para el principado, valores en intensidades.	107
Tabla 5.5. Escenarios para la cubeta de Andorra, teniendo en cuenta los efectos de suelo.	107
Tabla 6.1. Clasificación de los edificios de vivienda en clases de vulnerabilidad de acuerdo con la escala EMS'98 (Chávez et al. ,1998; modificada para el estudio).	110
Tabla 6.2. Condiciones consideradas para la clasificación de los municipios como vulnerabilidad alta, media o baja, en función de los porcentajes de las diferentes clases de vulnerabilidad, extraído de Chávez (1998).	112
Tabla 6.3. Identificación de las tipologías constructivas según el periodo de construcción en Andorra.	117
Tabla 6.4. Clases de vulnerabilidad propuestas para las tipologías de la BTM de Risk-UE.	117
Tabla 6.5. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono de Andorra (AD5002).	119
Tabla 6.6. Distribución de las tipologías estructurales de los edificios por polígono y por parroquia, en porcentajes.	120
Tabla 6.7. Principales tipologías para la zona piloto de la cubeta de Andorra con sus correspondientes índices de vulnerabilidad de Risk-UE (Mouroux y Lebrun, 2006).	121
Tabla 6.8. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad para los edificios de mampostería	121
Tabla 6.9. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad para los edificios de hormigón armado	122
Tabla 7.1. Condiciones para la clasificación del grado de daño observado.	131
Tabla 7.2. Coeficientes de víctimas humanas por terremotos para cada grado de	

daño, según el método ATC-13.	134
Tabla 7.3. Distribución de daños para el escenario determinista, en número de edificios.	138
Tabla 7.4. Distribución de daños para el escenario probabilista (T=475 años), en número de edificios.	140
Tabla 7.5. Distribución de daños a partir del mapa probabilista (T=1975 años), en número de edificios.	142
Tabla 7.6. Grados de daño medio por polígono y por parroquia para cada uno de los escenarios de daño escogidos.	151
Tabla 7.7. Pérdidas económicas para los tres escenarios sísmicos escogidos.	152
Tabla 7.8. Distribución del área del polígono con los incrementos de intensidad asignados por el mapa de microzonación sísmica.	153
Tabla 7.9. Distribución del porcentaje de edificios que corresponden a cada tipología constructiva.	154
Tabla 7.10. Intensidades asignadas a las diferentes zonas para cada escenario.	155
Tabla 7.11. Comparación de los Grados de daño medio obtenidos teniendo en consideración los efectos de suelo y sin tenerlos.	155
Tabla 7.12a. Resultados del escenario determinista usando la metodología de los índices de vulnerabilidad, considerando los efectos de suelo.	157
Tabla 7.12b. Resultados considerando los mapas probabilistas usando la metodología de los índices de vulnerabilidad, considerando los efectos de suelo.	157
Tabla 7.12c. Resultados considerando los mapas probabilistas usando la metodología de los índices de vulnerabilidad, considerando los efectos de suelo.	157
Tabla 7.13. Distribución de las personas sin hogar y heridos para los diferentes escenarios, según ATC-13. Usando el método del índice de vulnerabilidad y teniendo en cuenta los efectos de suelo.	158
Tabla 7.14. Distribución de las personas sin hogar según ATC-13, usando el método del índice de vulnerabilidad, con y sin efectos de suelo.	158
Tabla 7.15. Comparación de las distribuciones de los grados de daños de los edificios para el escenario determinista con periodo de retorno de 475 años, para	

las parroquias del Principado (en %).	159
Figura 7.16. Comparación de los grados de daños de los edificios (en %) para los diferentes escenarios y con las diferentes metodologías para la parroquia de Escaldes-Engordany.	160
Tabla 8.1. Escenarios para el Principado de Andorra.	167
Tabla 8.2. Escenarios para la cubeta de Andorra, teniendo en cuenta los efectos de suelo.	168
Tabla 8.3. Grados de daño medio para los distintos escenarios, sin tener en consideración los efectos de suelo.	169
Tabla 8.4. Comparación de los Grados de daño medio obtenidos teniendo en consideración los efectos de suelo y sin tenerlos en consideración para las parroquias de la <i>cubeta de Andorra</i> .	170

1 Introducción

1.1 Presentación

La presente memoria desarrolla las metodologías y obtiene los parámetros necesarios para la realización del análisis de vulnerabilidad y del riesgo sísmico en el Principado de Andorra.

La evaluación del riesgo sísmico constituido por el análisis de la peligrosidad, de la vulnerabilidad y de la estimación de pérdidas económicas es una herramienta indispensable para la reducción de los efectos que provocan los terremotos en la sociedad.

En la actualidad, son muchas las metodologías desarrolladas a nivel mundial para llevar a cabo estudios de evaluación de la vulnerabilidad sísmica en distintas regiones (Dolce *et al.*, 1994; FEMA, 1998, 2003; Freeman, 1998; Giovinazzi y Lagomarsino, 2004; Faccioli *et al.*, 1997; Faëh *et al.*, 2001; Erdik *et al.*, 2003, 2004). La aplicación de unas u otras en una región dependerá del nivel de actividad sísmica y de la cantidad de información disponible de la zona donde se vaya a aplicar.

En zonas de peligrosidad sísmica baja-moderada, donde no hay tradición en el estudio del riesgo sísmico, las metodologías “sencillas” adquieren un especial protagonismo a la hora de realizar, con escasa información, una evaluación preliminar del riesgo. Estas primeras evaluaciones son de gran utilidad a los gestores del territorio, para el diseño de los planes de emergencia y para definir normativas o medidas de prevención que ayuden a minimizar el riesgo existente.

En los últimos años se han desarrollado diversas herramientas que utilizan estas metodologías. La primera aplicación informática para realizar simulaciones de escenarios de daños en el territorio español se realizó en Cataluña para el Plan de Emergencias Sísmicas de Cataluña, SISMICAT, (Susagna *et al.*, 2006), donde la metodología desarrollada por Chávez (1998) se implementó en una programa específico para la región (González *et al.*, 2000; RSE, 2003; Roca *et al.*, 2006). A nivel nacional, se desarrolló el SES 2002 (Simulación de Escenarios Sísmicos) utilizado por la Dirección General de Protección Civil, y realizado en colaboración con el Instituto Geográfico Nacional (Barranco e Izquierdo, 2000). En el marco del proyecto ISARD (Información Sísmica Automática Regional de Daños), finalizado en marzo de 2008, como experiencia piloto se utilizó la metodología desarrollada dentro del proyecto para implementarla en una herramienta de simulación de escenarios para las dos zonas piloto del proyecto (El *Valle de la Cerdaña* y la *cubeta de Andorra*)

1.2 Antecedentes de estudios realizados en el Principado de Andorra

La primera iniciativa que existe en el ámbito del riesgo sísmico en Andorra es un texto que tiene carácter de recomendación “*Accions sísmiques - Accions sobre els edificis*”, fruto de la colaboración entre la *Conselleria de Serveis Públics del Govern del Principat d’Andorra* y el *Àrea d’Estructures i Materials del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya*- ITEC (Mañà, 1988). Los estudios de peligrosidad sísmica del país siempre han estado incluidos dentro de trabajos realizados por los países vecinos, Francia y España, o a través de proyectos realizados a escala europea, como el mapa sísmico del área Europea-Mediterránea realizado en 1999 dentro del programa SESAME (*Seismotectonics and seismic hazard assessment of the Mediterranean basin*) publicado por la *European Seismological Comisión* (ESC-SESAME, 2003).

Con el proyecto ISARD, por primera vez, se ha realizado un nuevo cálculo de la peligrosidad sísmica unificada para todo el Pirineo, incluyendo el Principado de Andorra (Secanell *et al.*, 2008)

A nivel de zonación sísmica, el primer mapa del Principado ha sido realizado por Macau (2008) para la *cupeta de Andorra*, también en el marco del proyecto ISARD. A escala más local se realizó una evaluación preliminar de la peligrosidad de caídas de piedras activadas por terremotos en una zona piloto de la *cupeta de Andorra* (Coral, 2002; Figueras *et al.*, 2005).

Respecto a la vulnerabilidad sísmica, los primeros estudios se han realizado dentro del proyecto ISARD, para la zona piloto de la *cupeta de Andorra*. En este estudio se han evaluado por una parte los edificios de vivienda (González *et al.*, 2007) y por otra, algunos de los edificios esenciales de la zona, principalmente el edificio de Gobierno, de Bomberos, de la policía y algunas escuelas y vías principales de comunicación (Roussillon *et al.*, 2006; Monge *et al.*, 2007a, Monge *et al.*, 2007b).

1.2.1 El proyecto ISARD

El proyecto ISARD, Información Sísmica Automática Regional de Daños (2003-2007), pertenece al programa Interreg IIIa, cuyo objetivo es la cooperación transfronteriza entre países vecinos. Es un proyecto parcialmente financiado por fondos FEDER en el marco de acciones Interreg IIIa Francia-España que reunió a participantes franceses, españoles y andorranos.

El objetivo de ISARD era el de generar informaciones preventivas y operacionales sobre el riesgo sísmico, sin distorsión a causa de la frontera, con una transmisión eficiente de la información a los servicios de Protección Civil o a las personas encargadas de la emergencia. La redacción de este proyecto se inspiró en diversas consideraciones; por una parte, el Pirineo constituye para España

y Francia la zona común de mayor sismicidad. Y por otra, que la única estrategia válida frente al fenómeno sísmico es la prevención, ya que la predicción sísmica no es operacional.

El proyecto constaba de cuatro módulos:

En el módulo 1 se estable un método común para la producción de mapas de peligrosidad sísmica y para la unificación de bases de datos y se propuso una nueva zonación sísmica transfronteriza y unificada de todo el Pirineo.

En el módulo 2 se realiza la simulación de escenarios de daño sísmico en dos zonas piloto (Valle de Andorra y Valle de la Cerdaña), estas dos zonas se escogieron por la necesidad de actuación, en caso de crisis sísmica, de los equipos de rescate a ambos lados de la frontera.

El módulo 3 está orientado a la gestión operativa de la crisis, se trata de demostrar la factibilidad de un sistema automático y rápido de estimación de daños después de producirse un terremoto, dirigido esencialmente a los servicios de Protección Civil que deben gestionar la crisis.

El módulo 4 integra los aspectos educativos y de difusión de la información, con la realización de una página WEB trilingüe (francés, catalán y castellano) con informaciones útiles a la población, así como la organización de seminarios para presentar y debatir los resultados con los diferentes agentes implicados en el tema.

En el anexo 1 se presenta el proyecto ISARD de forma más completa.

1.3 Motivación

Estudios recientes de peligrosidad sísmica asignan para el Principado de Andorra intensidades VII y VIII para periodos de retorno de 475 y 1975 años respectivamente (Secanell *et al.*, 2008).

En la actualidad, en el país, no hay ninguna legislación que obligue a utilizar una normativa sismorresistente en el cálculo de las estructuras. Esta particularidad hace que para la mayoría de los edificios existentes en el país no se hayan utilizado normativas sismorresistentes para el cálculo de su estructura, y que los pocos edificios que si la tienen hayan utilizado la de los países vecinos: España y Francia.

Este hecho, hace sospechar que terremotos de intensidad moderada podrían provocar pérdidas importantes en el territorio, como fue el caso del terremoto del 21 de septiembre de 2004 en el Ripollés (Girona, Cataluña), que con una magnitud de 4.0 (M_L , IGC¹) y una intensidad epicentral

¹ Institut Geològic de Catalunya, <http://www.igc.cat> [última entrada 04/03/2010]

de V-VI, provocó en la zona epicentral, pérdidas materiales aseguradas que ascendieron a unos 254.000 euros (Consortio de compensación de Seguros, 2004).

En el Principado la falta de estudios en el campo de la vulnerabilidad sísmica está condicionada a la inexistencia de organismos oficiales encargados de crear y gestionar bases de datos de edificación necesarios para la realización de estos análisis.

Las experiencias de otros países en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, han servido para desarrollar diferentes metodologías, adaptadas a diferentes regiones, que permiten realizar la evaluación de la vulnerabilidad con diferentes niveles de detalle. Ejemplos de estas metodologías son las obtenidas dentro del proyecto europeo Risk-ue (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) del índice de vulnerabilidad (Giovinazzi y Lagomarsino, 2002), y la desarrollada por Chávez (1998) para Cataluña con clases de vulnerabilidad, entre otras.

La principal motivación de este trabajo es la realización de una primera evaluación del riesgo sísmico, en un país donde anteriormente no se ha realizado ningún estudio en este campo. No solo por la peligrosidad sísmica del Principado (baja-moderada), sino por el gran número de elementos en riesgo. Es decir, la alta densidad de población, la gran concentración de edificios de vivienda, la situación particular entre dos países, España y Francia, la concentración de edificios esenciales y la difícil gestión de la emergencia, en momentos de crisis, entre otras particularidades, hacen que estudios de este tipo sean necesarios tanto a la hora de aportar información de base del territorio, como para la elaboración de planes de emergencia y propuestas de gestión del riesgo sísmico en el país, ya que la evaluación del riesgo es la única herramienta que tienen las administraciones para su prevención y gestión.

1.4 Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es la realización de la evaluación del riesgo sísmico en el Principado de Andorra. Para ello se han escogido dos metodologías de evaluación de la vulnerabilidad y se han creado las bases de datos de edificación necesarias para su aplicación. Las bases de datos se han integrado en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su explotación.

Otros objetivos más específicos que aborda esta tesis son los siguientes:

1. Crear una metodología sencilla para la elaboración de bases de datos de edificación útiles para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en zonas donde no se dispone de esta información.

2. Crear la base de datos de edificación del Principado, inexistente hasta el momento. Para alcanzar este objetivo ha sido necesario diseñar y crear el modelo de datos, recopilar la información, digitalizar los datos e integrarlos en un SIG para su explotación.
3. Elegir y aplicar las diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica existentes en la bibliografía, y adaptación a la zona de estudio.
4. Definir la distribución de las clases de vulnerabilidad de los edificios de vivienda acordes con la Escala Macrosísmica Europea, EMS'98, (Grünthal, 1998).
5. Describir las etapas constructivas y sus tipologías estructurales de la zona, para definir las matrices tipológicas representativas de los edificios de vivienda del Principado.
6. Cuantificar la vulnerabilidad en base al índice de vulnerabilidad para cada una de las tipologías y para cada unidad de estudio considerada.
7. Definir los escenarios sísmicos razonables para el Principado. Concretamente se han definido tres casos: dos probabilistas, uno con periodo de retorno de 475 y otro de 1975 años, y un escenario determinista definido por un terremoto análogo al ocurrido en 1428 de intensidad epicentral IX (Olivera *et al.*, 2006). Estos escenarios vienen expresados en términos de intensidades.
8. Simulación de escenarios de daños. Determinación del grado de daño que experimentarían las edificaciones de vivienda de cada una de las parroquias para los diferentes casos planteados con las diferentes metodologías seleccionadas.
9. Cuantificar las variaciones de daños producidas en la región, teniendo en cuenta los efectos de suelo.
10. Estimar el grado de daño a la población en función de los escenarios sísmicos escogidos.
11. Calcular las pérdidas económicas asociadas a los distintos escenarios sísmicos.

Este análisis permitirá estimar el grado de pérdidas que sufrirán las estructuras, las personas, las infraestructuras, las actividades económicas y, en general, todos aquellos elementos sensibles a la acción sísmica.

El objetivo final es la estimación de escenarios de daños útiles a los organismos encargados de la gestión de la emergencia. Los resultados tienen dos utilidades principales: antes del sismo sirven como herramienta para desarrollar políticas de prevención de desastres sísmicos y, después del sismo, como herramienta de gestión de la emergencia.

1.5 Metodología

Para afrontar el estudio de la vulnerabilidad sísmica en el Principado de Andorra se ha partido de cero, pues no existen bases de datos sobre la edificación. Así, una parte importante de este estudio ha consistido en el diseño y creación de éstas.

Previamente a la obtención de los datos, se estudiaron las diferentes metodologías que se iban a aplicar en la región, y en base a ellas, se definió la información que se iba a recoger. Los datos provienen de varias fuentes: primero se recogió toda la información disponible en los “comuns” (ayuntamientos) y fuentes bibliográficas existentes, a partir de aquí, se fue completando mediante interpretación y comparación de fotografías aéreas de diferentes años, campañas de campo, y entrevistas con arquitectos e ingenieros de la zona, conocedores de la evolución de la edificación en el Principado. El objetivo era caracterizar la distribución de los edificios en función de su altura, año de construcción y sus tipologías estructurales y definir la matriz tipológica de los edificios de vivienda en la zona.

La vulnerabilidad del parque de edificios de vivienda del Principado de Andorra se ha evaluado por métodos estadísticos basados en las clases de vulnerabilidad de la escala EMS'98 y en índices de vulnerabilidad (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Giovinazzi, 2005). Las metodologías utilizadas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica son la propuesta por Chávez (1998) y la propuesta en el proyecto europeo Risk-ue (Lagomarsino *et al.*, 2002).

Una vez realizado el análisis de la vulnerabilidad se definieron los escenarios sísmicos necesarios para la realización de la estimación de los daños.

Con las dos metodologías seleccionadas se ha evaluado la distribución de daños asociada a cada uno de los escenarios considerados. Para la zona de la *cupeta de Andorra*, se incluyeron los efectos de suelo y se cuantificaron las variaciones que se producen al tenerlos en cuenta o no en la estimación del daño a los edificios y a la población. Por último, se realiza una estimación de las pérdidas económicas posibles como resultado del daño a las edificaciones.

En la Figura 1.1 se muestra en forma de diagrama de flujo y a modo de resumen la metodología utilizada en este trabajo. En ella se pueden diferenciar claramente tres partes: en la primera se realiza la adquisición de la información de base, en la segunda se realiza la implementación de la información de base en bases de datos útiles para la gestión de éstos y la tercera, se procede al análisis del riesgo sísmico.

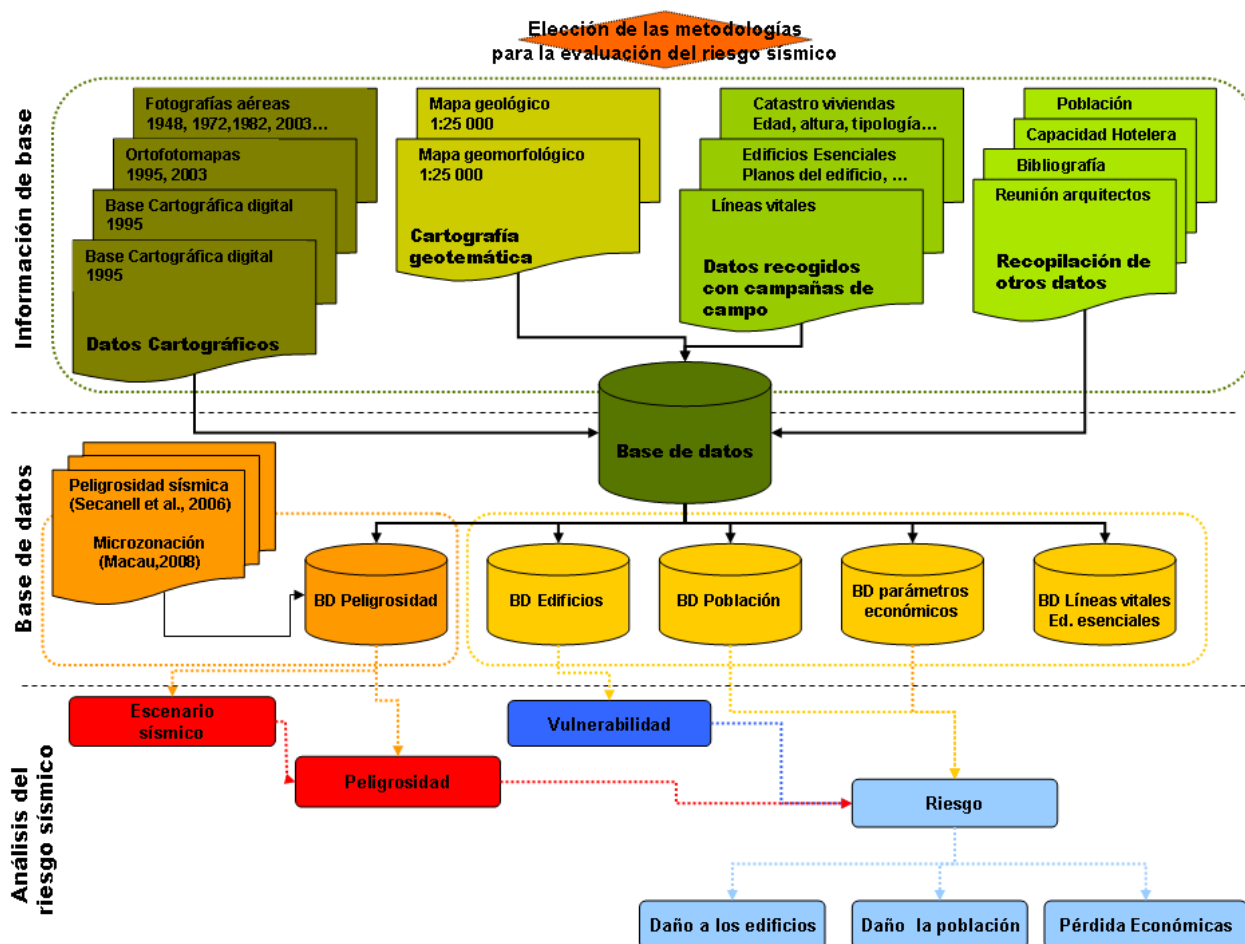


Figura 1.1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada.

1.6 Contenido de la memoria

La memoria se ha estructurado en 8 capítulos y 6 anexos.

El **Capítulo 1**, es un capítulo introductorio, en él se presentan los antecedentes de los estudios de riesgo sísmico realizados en el Principado, la motivación del trabajo con la definición de los objetivos, una breve descripción de la metodología utilizada para la evaluación del riesgo sísmico y el contenido de la memoria.

El **Capítulo 2** se ha dedicado íntegramente a presentar la zona de estudio. En él no se pretende hacer una descripción exhaustiva de su historia, ni de su evolución económica y social, sino que, de forma sintética, se presentan los factores más característicos que definen su evolución económica, la organización del territorio y su población. Estos factores son la clave del desarrollo urbano que ha sufrido el país y su conocimiento será de gran utilidad para poder interpretar los

resultados obtenidos posteriormente en el estudio de vulnerabilidad. Así, por ejemplo, las unidades utilizadas para la presentación de los resultados se han escogido en base a la organización administrativa del país y a los datos disponibles referentes a: población de los núcleos urbanos, densidad de población y población flotante. Como resultado relevante, en este capítulo se definen y presentan las unidades de estudio utilizadas en este trabajo.

En el **Capítulo 3** se describen las metodologías de evaluación de la vulnerabilidad sísmica utilizadas. Se han elegido dos que se adaptan bien a los objetivos del trabajo y a las características de la región. La primera define el edificio, o conjunto de edificios, mediante clases de vulnerabilidad (Chávez 1998; Roca *et al.* 2006); la segunda, permite definir el edificio, o conjunto de edificios, mediante un índice de vulnerabilidad (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Giovinazzi, 2005). Ambas metodologías definen el movimiento del suelo mediante la intensidad macrosísmica de la escala EMS'98, lo que es adecuado en zonas donde la sismicidad es baja-moderada, y ambos coinciden en determinar de una forma sencilla el grado de daño medio esperado y las matrices de probabilidad de daño, pero difieren en la forma de caracterizar la resistencia sísmica de los edificios.

El **Capítulo 4** está dedicado íntegramente a la descripción de la base de datos de edificación creada, necesaria para llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad sísmica en el Principado de Andorra, y a su integración en un SIG. A falta de un catastro, los datos utilizados para la construcción de la base de datos de edificación se han obtenido de diferentes fuentes: a partir de la bibliografía existente, a partir de información perteneciente a los Planes de Ordenación y Urbanismos Parroquial (POUP), por comparación de fotografías aéreas de diferentes años (principalmente las de los vuelos de los años 1948, 1972 y 2003), a través de visitas de campo y por criterio de experto. La implementación de los datos en un SIG ha sido de gran utilidad a la hora de gestionar la información de los 9.228 edificios y de su distribución adecuada en parroquias o polígonos, para la construcción de las bases de datos de edificación. El SIG también ha permitido la creación de mapas temáticos de forma ágil, al igual que la incorporación de nueva información.

El **Capítulo 5** contiene la descripción de la sismicidad y peligrosidad sísmica de la zona. En este capítulo se muestran los mapas que se utilizarán para la realización de los escenarios de daño. Se han definido tres casos: dos probabilistas, con periodos de retorno de 475 y 1975 años, y uno determinista, a partir de un terremoto análogo al ocurrido el 2 de febrero de 1428 con intensidad epicentral IX en el Ripollès (Girona) (Olivera *et al.*, 2006). Estos escenarios vienen expresados en términos de intensidad macrosísmica, y serán modificados con el mapa de microzonación sísmica en la *cueva de Andorra*.

En el **Capítulo 6** se presentan los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad del Principado, realizada a partir de la utilización de dos metodologías sencillas, una basada en clases de vulnerabilidad y otra basada en índices de vulnerabilidad. Ambas cuantifican la acción sísmica en términos de intensidad macrosísmica y evalúan la resistencia sísmica del edificio en términos de clases e índices de vulnerabilidad respectivamente. Como resultados relevantes, en este capítulo se definen las distribuciones estadísticas de las clases de vulnerabilidad del parque de edificios de vivienda del Principado, así como la matriz tipológica de los edificios (BTM) y sus índices de vulnerabilidad. Los datos se presentan para cada una de las unidades de estudio definidas y para cada uno de los métodos utilizados. Finalmente se hace una comparación de los resultados obtenidos por cada uno de ellos.

En el **Capítulo 7** se presentan los resultados de la simulación de los escenarios de daño. Por una parte, se presentan los resultados de la evaluación del daño potencial que pueden sufrir las edificaciones al ser sometidas a las diferentes acciones sísmicas escogidas, y por otra, se presenta el daño a la población, como consecuencia del daño a las edificaciones. Por último, se realiza una estimación de las pérdidas económicas posibles como resultado del daño a las edificaciones en los diferentes escenarios. Para la *cupeta de Andorra* también se presentan los resultados de los escenarios de daño teniendo en cuenta los efectos de suelo, con el objetivo de cuantificar la variación de daños al tener o no en consideración la variación del movimiento del suelo en una zona.

El **Capítulo 8** contiene las conclusiones de este estudio y las futuras líneas de investigación.

En el **Anexo 1** se presenta el proyecto ISARD de forma detallada.

En el **Anexo 2** se presentan en forma de tablas todos los datos referentes a las unidades de estudio escogidas: nombre de las parroquias, Código postal, población de la parroquia, área de la parroquia, número de edificios de vivienda empleados en este estudio, habitantes por edificio, número de edificios de vivienda por parroquia, área edificada, densidad de población respecto al área edificada, entre otros.

En el **Anexo 3** se hace una breve descripción de la Escala Macrosísmica Europea (EMS'98).

En el **Anexo 4** se presenta por una parte la clasificación de los usos de los edificios que se definió en el proyecto Risk-ue modificada, para clasificar de forma homogénea los usos de los edificios; y por otra, se presenta la clasificación de edificios según la la matriz tipológica de los edificios (BTM) definida en el proyecto Risk-ue y una breve descripción de cada tipología.

En el **Anexo 5** se presentan las gráficas del análisis de vulnerabilidad: distribución de las clases de vulnerabilidad por polígono, distribución de los índices de vulnerabilidad por polígono y comparación entre clases e índices de vulnerabilidad. Por último se presenta una tabla con los valores de la comparación entre clases e índices de vulnerabilidad por polígonos.

Finalmente en el **Anexo 6** contiene toda la información detallada, en forma de tablas, de los resultados de los escenarios de daño a los edificios y a la población por unidades de estudio.

2 El Principado de Andorra: Características del territorio y elementos en riesgo.

2.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es presentar el ámbito del estudio, el Principado de Andorra. No se pretende hacer una descripción exhaustiva de su historia, ni de su evolución económica y social, sino que, de forma sintética, se presentan los factores más característicos que definen su evolución económica, la organización del territorio y su población. Estos factores son la clave del desarrollo urbano que ha sufrido el país y su conocimiento será de gran utilidad para poder interpretar los resultados obtenidos posteriormente en el estudio de vulnerabilidad. Así, por ejemplo, las unidades utilizadas para la presentación de los resultados se han escogido en base a la organización administrativa del país y a los datos disponibles referentes a: población de los núcleos urbanos, densidad de población y población flotante. Como resultado relevante, en este capítulo se definen y presentan las unidades de estudio utilizadas en este trabajo.

2.2 Geografía y Geología

2.2.1 Geografía

El Principado de Andorra está situado en el Suroeste de Europa, en la vertiente mediterránea de los Pirineos orientales, entre España (Cataluña) y Francia (Arieja), estados con los que comparte respectivamente 64 y 57 Km de frontera. Tiene una extensión de 468 km². Andorra es un país montañoso, formado por un conjunto de macizos, sierras, valles y picos que sobrepasan los 2.900 m tales como el pico del Coma Pedrosa, es el punto más alto, con 2.942 m; el pico de l'Estanyó, con 2.916 m; el pico de Medacorba, con 2.913 m o el pico de la Serrera, con 2.912 m. La altitud media del Principado es de 1.996 m. El punto más bajo está situado a 840 metros, en la frontera entre España y Andorra. El territorio está dividido en tres valles con forma de Y, formados por los ríos Valira del Norte y Valira de Oriente, que confluyen en el Gran Valira. Esta red fluvial es tributaria del río Segre. Hay otros dos cursos fluviales que no son tributarios del Valira, como el Arieja (tributario del Garona, con dirección Norte) y el Llosa (que desemboca directamente en el Segre).

Su relieve está formado por desfiladeros y valles estrechos, rodeados por montañas de entre 1.800 y 3.000 metros de altura. El modelo de elevaciones muestra que la mayor parte del territorio

está por encima de los 1.300 metros (Figura 2.1). Por debajo de esta altura (en tonalidades de color verde) y adaptándose a este relieve se desarrollan los núcleos de población y la red de carreteras. Las poblaciones se asientan en los fondos de los valles y las redes de carreteras crecen paralelas a los ríos, uniando los núcleos de población.

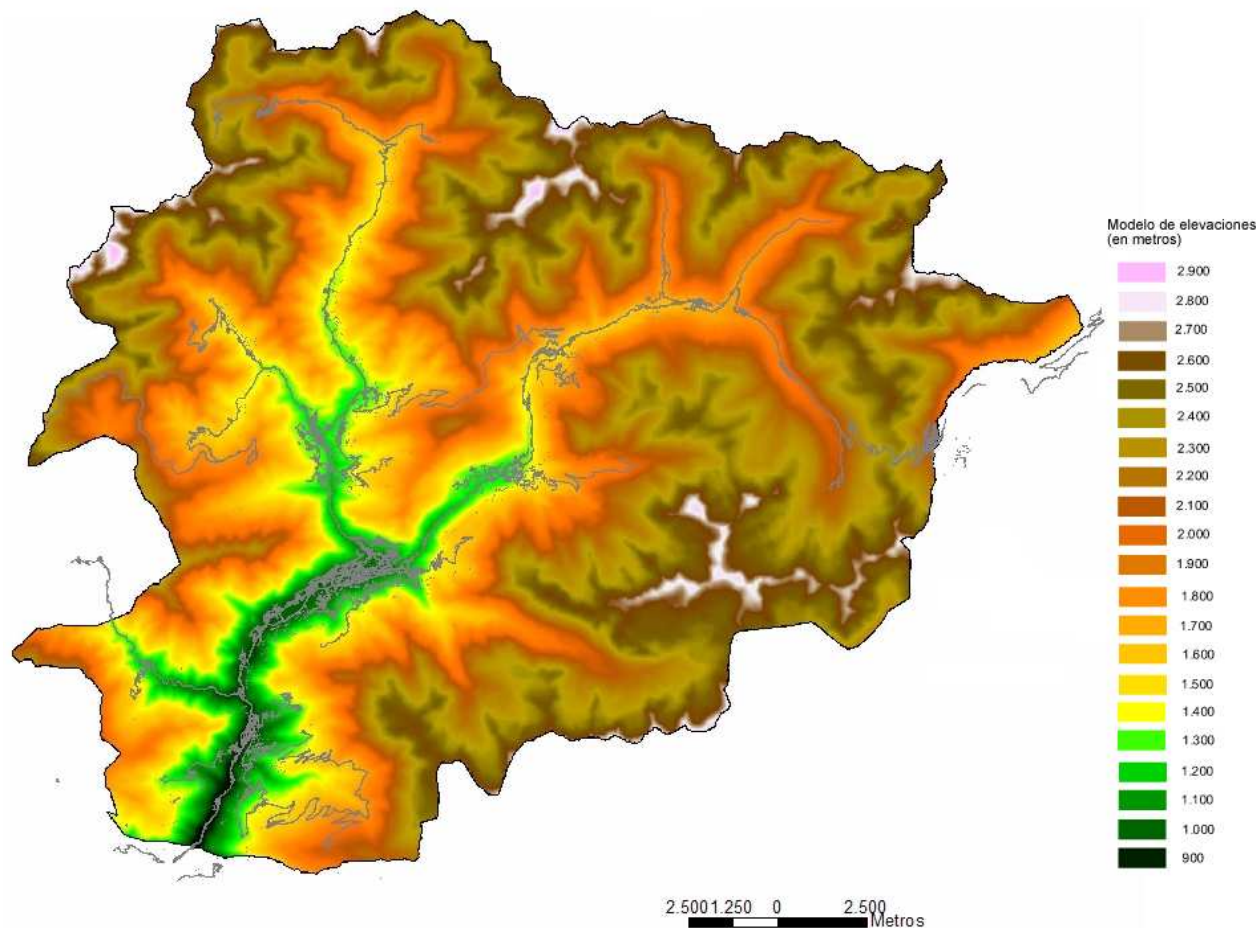


Figura 2.1. Modelo de elevaciones del Principado de Andorra.

2.2.2 Geología

Si exceptuamos los depósitos cuaternarios, Andorra está formada exclusivamente por materiales precarboníferos (Figura 2.2). Estos se pueden dividir en tres grandes grupos: los gneises, los materiales sedimentarios paleozoicos y los granitoides. Todos ellos forman parte de los materiales paleozoicos que afloran en la zona central del Pirineo, en una extensa faja orientada aproximadamente E-O, que se conoce con el nombre de Zona Axial. Estos materiales paleozoicos han experimentado los efectos de la orogenia herciniana, que tuvo lugar durante el Carbonífero y

que culminó con la formación de una sierra de plegamiento, erosionada posteriormente durante el paleozoico. Estos materiales tienen una historia geológica más compleja, porque forman parte de un sector de la sierra Herciniana situada en el dominio alpino, es decir, deformada posteriormente por la orogenia alpina, que tuvo lugar durante el Terciario. Resumiendo, podemos considerar que Andorra está formada por un conjunto de bloques de rocas antiguas levantadas por movimientos recientes (CRECIT, 2002).

El relieve andorrano tal y como lo vemos actualmente es fruto de la acción de los glaciares (Figura 2.3). Antes de instalarse el hielo existía un relieve preglaciar caracterizado por la existencia de un conjunto de montañas alineadas fuertemente excavadas por la acción fluvial. De esta época se conservan superficies de erosión (restos de antiguas superficies de erosión formadas durante el terciario) entre los 2.400 y los 2.800 m que la acción posterior del hielo no ha erosionado. Durante la etapa preglaciar se configuraron las direcciones de la red fluvial tal y como las vemos hoy en día, en valles orientados hacia el Sur siguiendo los tres ejes principales: el Valira de Oriente y el Valira del Norte que confluyen en el Gran Valira y que siguen estructuras tectónicas (CRECIT, 2005).

2.3 Economía

2.3.1 Evolución en el siglo XX

A mediados del siglo XX la sociedad andorrana era fundamentalmente rural. La ganadería, la agricultura y la explotación del bosque eran las actividades económicas predominantes de país. La ganadería era la actividad más importante, favorecida por la existencia de los prados alpinos. En verano era cuando se sacaba el máximo rendimiento: los rebaños extranjeros subían hacia Andorra y la hierba de los prados era la riqueza del país. La trashumancia de los rebaños españoles y franceses entra en decadencia en los años 70. Por otro lado, la artesanía y el comercio eran actividades secundarias. Otras actividades que se realizaban eran las relacionadas con el bosque: obtención de madera, leña y carbón vegetal. La piedra se utilizaba como material de construcción y el agua como fuente de energía. Por esta época desaparecieron dos actividades que habían tenido gran importancia en los siglos anteriores: la obtención del hierro y la artesanía textil. La introducción de productos de países vecinos provocó la desaparición de las actividades artesanales que se llevaban a cabo en el país.

Otro producto que se comercializaba en Andorra, desde los años 30, era la energía eléctrica. La combinación de la construcción de carreteras, el aumento y la diversificación del comercio y la

producción hidroeléctrica son los tres factores que empiezan a provocar la transformación de la sociedad tradicional andorrana.

A finales de los años 40 y principios de los 50 la actividad turística empieza su crecimiento. A finales de los años 50 las formas económicas tradicionales entran en crisis, especialmente la ganadería. Del predominio del sector primario se pasa al predominio claro de la actividad terciaria. Andorra se convierte, entre los años 70 y los 90, en un gran centro comercial.

2.3.2 Situación actual

En la actualidad, los sectores estratégicos de la economía andorrana son: el turismo, el comercio, el sector inmobiliario, el sector financiero y las aseguradoras. El desarrollo económico está basado principalmente en la actividad privada que es la clave de la competitividad del país. El comercio y el turismo son las dos actividades económicas que han impulsado el desarrollo del país, ya que el comercio atrae turismo y este condiciona el incremento de la actividad comercial. Estas dos actividades son la causa del elevado incremento de la población, hecho que ha dado lugar a la significativa presión urbanística actual.

El país ofrece una importante infraestructura comercial, hotelera y de servicios turísticos, muy superior a la media de cualquier otro país, con más de 300 hoteles y residencias (unas 30.000 plazas hoteleras disponibles), seis estaciones de esquí, equipamientos culturales (auditorios y museos) y deportivos (polideportivos, piscinas cubiertas, pistas de hielo, campos de tiro, entre otros), Caldea (centro termo-lúdico), y una amplia oferta de comercios (aproximadamente cuatrocientos).

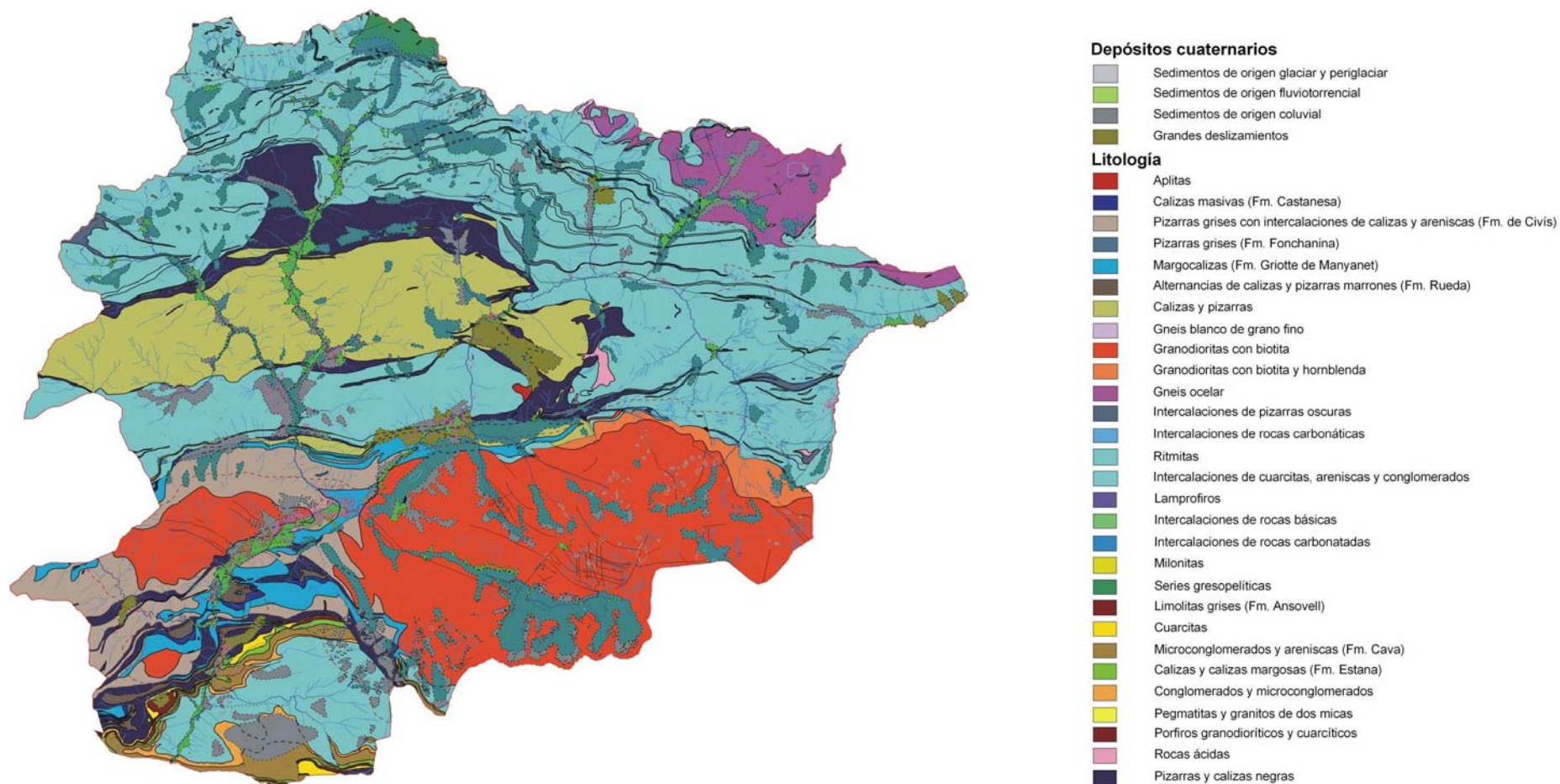


Figura.2.2. Mapa geológico de Andorra (CRECIT, 2002).

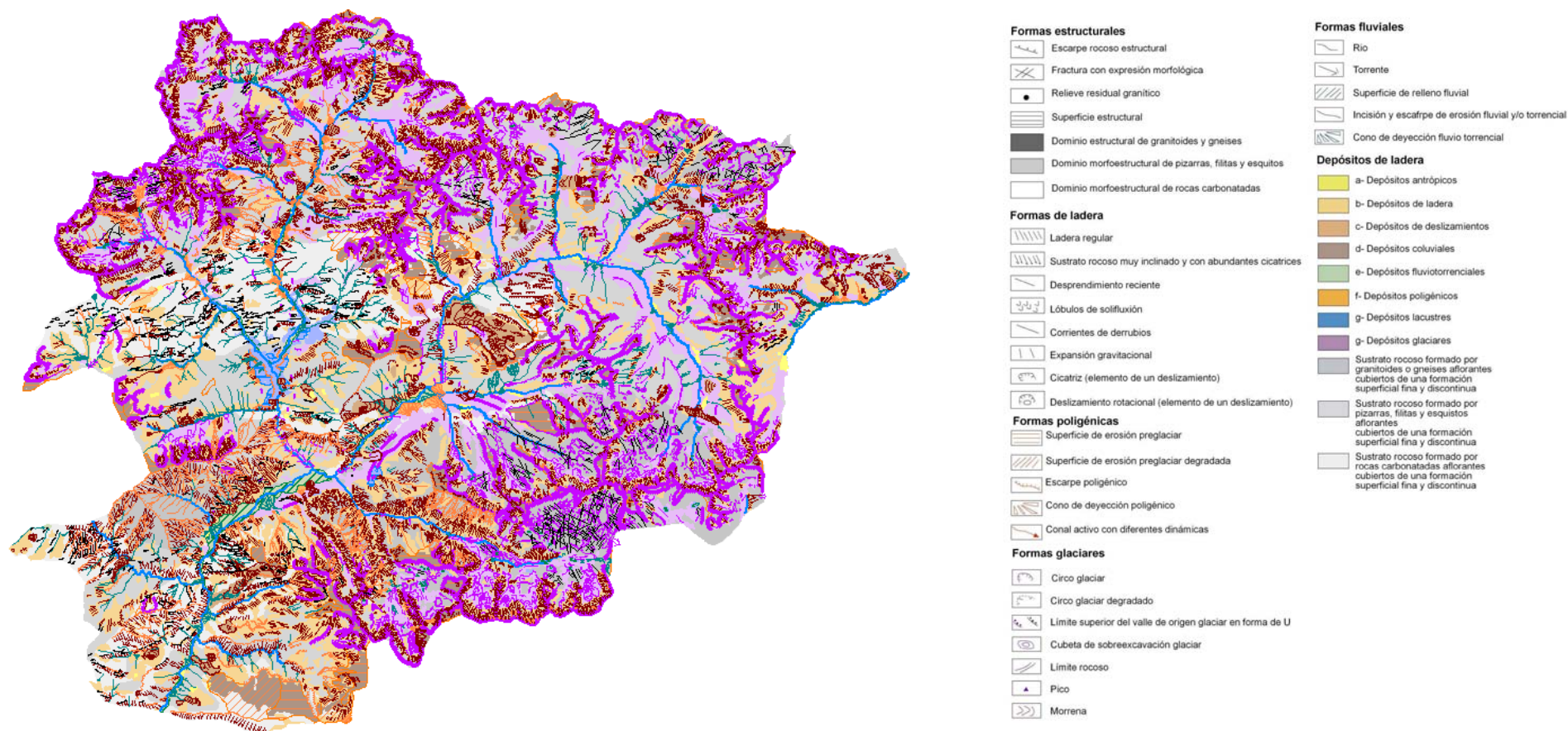


Figura 2.3. Mapa geomorfológico de Andorra (CRECIT, 2005).

Se pueden establecer diferentes etapas históricas de la transformación comercial. Hasta 1930, la localidad comercial por excelencia era *Sant Julià de Lòria*, seguida de *Escaldes*, en aquella época *Andorra la Vella* no destacaba. En el periodo comprendido entre 1950 y 1959 se observa un crecimiento significativo tanto en *Escaldes* como en *Andorra la Vella*, y es a partir de 1960 cuando *Andorra la Vella* ocupa la primera posición comercial del país. El núcleo del *Pas de la Casa* necesitó unos cuantos años más para alcanzar la cuarta posición que posee actualmente. El centro comercial de *Andorra la Vella* y *Escaldes*, registra la densidad más alta de actividad comercial debido a su accesibilidad y una mayor proporción de suelo edificable en comparación con el resto del país. La zona urbana actual ha llegado a ocupar casi la totalidad del terreno disponible. El esquí ha influido positivamente sobre las parroquias que se han beneficiado de la presencia de una estación de esquí. La práctica de los deportes de invierno ha favorecido el sector comercial. Por lo que respecta al comercio por parroquias, actualmente la concentración más alta de las actividades está en la parroquia de *Andorra la Vella* con más de un 40% del total de las actividades, seguida de *Escaldes* con más de un 21%. En las parroquias de *Ordino*, *Canillo* y *la Massana* hay muy poca actividad comercial.

2.3.3 Factores urbanísticos

El desarrollo del urbanismo de Andorra está ligado principalmente a dos factores que no son independientes entre sí: por una parte al crecimiento económico y por otro la llegada de la inmigración. El Principado ha sufrido una transformación rápida en 40 años, con el paso de una sociedad agrícola y ganadera, a una sociedad cosmopolita, urbanizada y comercial. Así pues, a principios de siglo XX la población se situaba en el fondo de valle, en lugares donde había más espacio para la práctica de la agricultura y de la ganadería, se distribuía en núcleos de población de dimensiones reducidas situados a poca distancia unos de otros. De hecho cada parroquia agrupaba diversos núcleos de estas características. La disposición de los diferentes pueblos estaba condicionada por el relieve y la altitud. Este factor diferencia de manera general a las parroquias altas (*Canillo*, *Encamp*, *Ordino*, *la Massana*) de las parroquias bajas (*Andorra la Vella*, *Escaldes-Engordany* y *Sant Julià de Lòria*). Por otra parte, los pueblos más grandes de cada parroquia están situados en las cotas de altitud más bajas dentro de su parroquia. A finales del siglo XIX el urbanismo de los pueblos respondía a un carácter principalmente rural, en el que predominaban núcleos con casas de campo y sólo los pueblos más grandes tenían alguna calle

principal. Había también numerosas edificaciones auxiliares adosadas a las casas o dispersas por el pueblo, como bordas² y establos.

La evolución demográfica de Andorra ilustra el proceso de urbanización de los valles. El fuerte aumento de la población viene acompañado de cambios urbanísticos importantes, que modifican las características y el aspecto de los núcleos de población. El urbanismo de los pueblos se modifica, así como el estilo de las edificaciones pues aparecen los bloques de pisos. En 1965, entre Andorra y Escaldes, sólo existía el edificio de correos. En el periodo de 1965-1970 empezó la construcción en las partes bajas de los valles debido a un aumento elevado de la población. El fuerte crecimiento urbano hace que no sólo se ocupen los fondos de valle sino que también se construya en zonas de elevada pendiente. A partir de 2001, con la nueva ley de urbanismo y la realización de los nuevos Planes de Ordenación del Territorio y Urbanismo, la construcción entra en una fase estacionaria.

2.4 Organización del Territorio

2.4.1 Organización administrativa

El Principado de Andorra se divide territorial y administrativamente en 7 parroquias: *Canillo, Encamp, Ordino, la Massana, Andorra la Vella, Sant Julià de Lòria y Escaldes-Engordany* (Figura 2.4). Las parroquias se estructuran, tradicionalmente en cuartos (*“quarts”*) y vecindades (*“veïnats”*). Las vecindades son exclusivas de la parroquia de Canillo y son las siguientes: *l’Aldosa, el Forn, Meritxell-Molleres, Prats, Ransol, Soldeu, el Tarter i el Vilà*. Con respecto a los cuartos, las parroquias de *Ordino, la Massana y Sant Julià de Lòria* se dividen y se estructuran en cuartos. La parroquia de *Ordino* se divide en los cuartos de *Ansalonga, la Cortinada, Llorts, Ordino y Sornàs*. La parroquia de *la Massana* se divide en los cuartos de: *la Aldosa, Anyós, Arinsal, Erts, la Massana, Pal y Sispony*, y la parroquia de *Sant Julià de Lòria* se divide en los cuartos de: *Aixirivall, Auvinyà, Bixessarri, Fontaneda y Nagol*. La parroquia de *Encamp* no presenta ninguna estructura territorial propia menor. La parroquia de *Andorra la Vella* estaba formada por los cuartos de *Andorra la Vella y Escaldes-Engordany* hasta 1978; a partir de esta fecha *Escaldes-Engordany* se convirtió en parroquia y actualmente ninguna de las dos tiene una estructura territorial menor.

² Borda: en el Pirineo, cabaña destinada a albergue de pastores y ganado. (Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia)

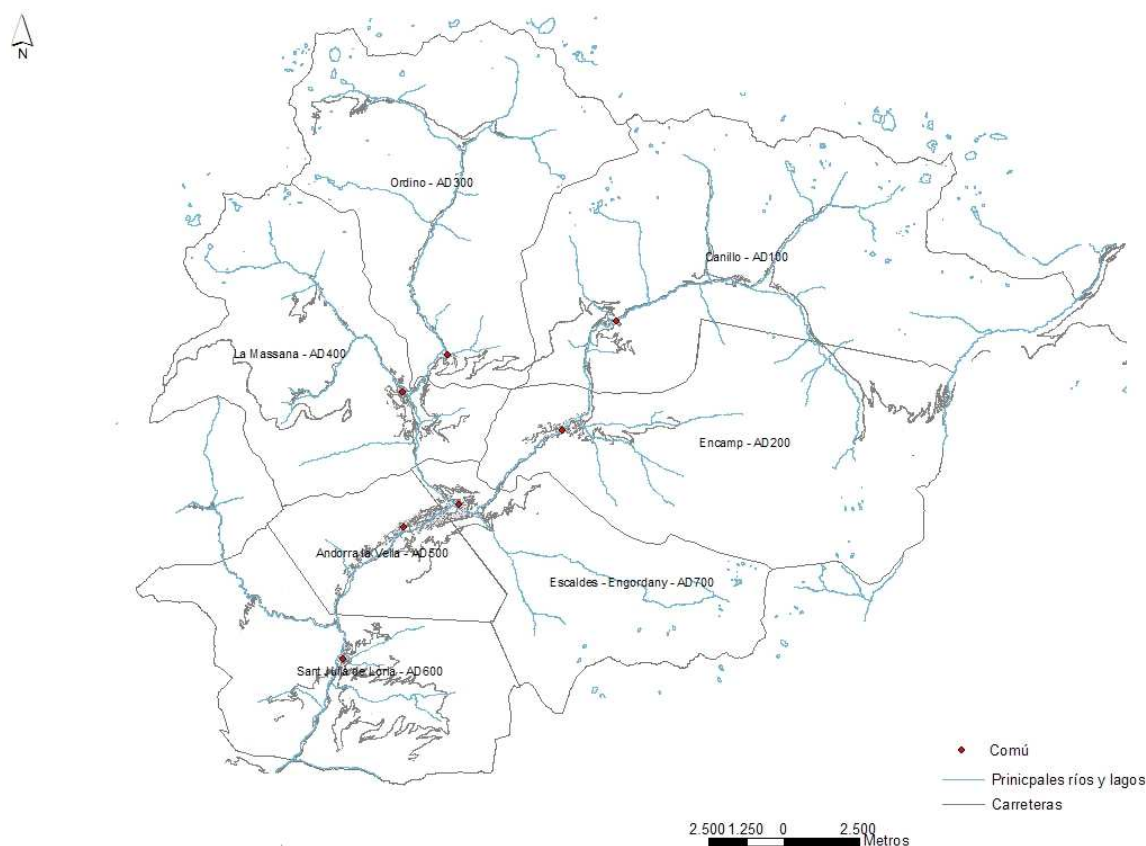


Figura 2.4. División parroquial de Andorra. Con un punto rojo la situación del Comú.

Cada parroquia tiene una capital que es donde está el *Comú* (ayuntamientos), órgano de representación y administración propio de cada parroquia. En la Figura 2.5 se presentan todos los núcleos de población que forman cada parroquia.

En el Anexo 2 (Tabla 1) se presenta un resumen de cada parroquia, su código postal, la población, el área de la parroquia, el número de edificios de vivienda, el área edificada por parroquia, densidad de población respecto al área edificada, los núcleos de población para cada parroquia y su población (censo del año 2003). La parroquia con más extensión es *Canillo*, con 106 km², seguida de *Ordino* con 81,8 km². La más pequeña es la parroquia de *Andorra la Vella* con 20,1 km². Las parroquias con más área edificada son *Andorra la Vella*, *Escaldes-Engordany* y *Sant Julià de Lòria* con 15,9 km², 9,5 km² y 8,9 km² respectivamente. Las parroquias con una densidad mayor de población son la parroquia de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* con 1.386 y 1.726 habitantes/área edificada respectivamente.

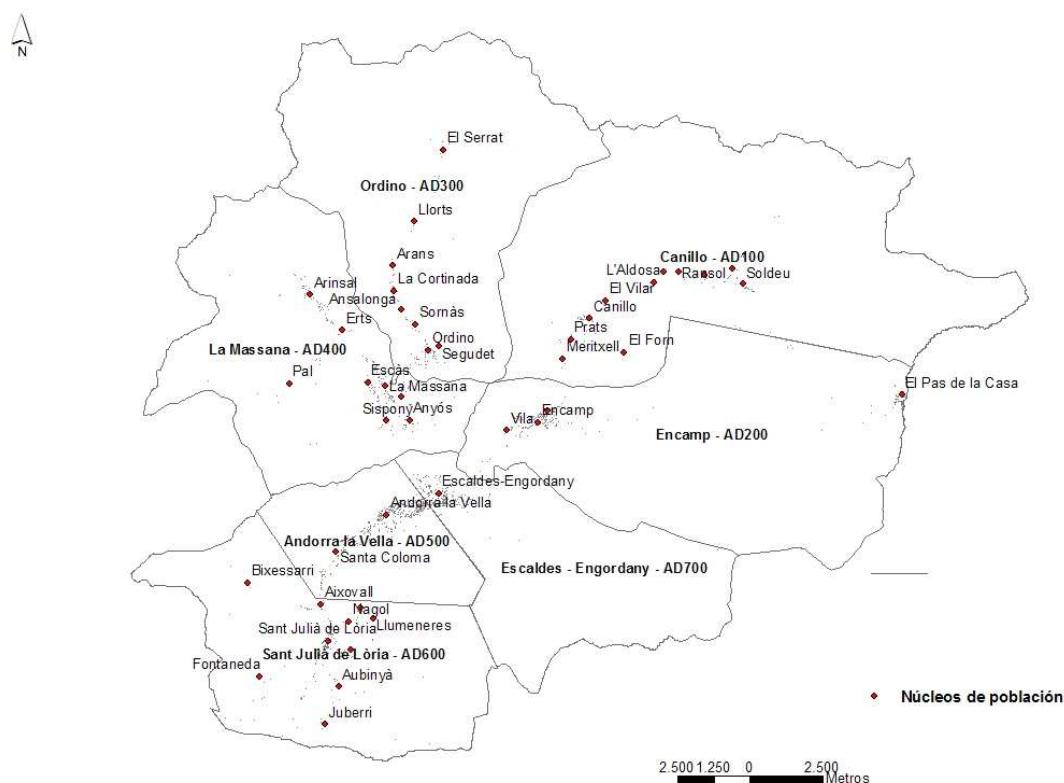


Figura 2.5. Núcleos de población del Principado.

2.4.2 Unidades de estudio: parroquias y polígonos

Las unidades de estudio se han escogido en base a la organización administrativa, la distribución de población y otros parámetros relacionados con la densidad de edificios, situación topográfica y tipo de suelo. Como resultado se han obtenido 26 polígonos distribuidos entre las siete parroquias que constituyen el Principado. Las parroquias forman la unidad más grande de estudio en la que se darán los resultados. Estas se han escogido por ser la unidad de división territorial y administrativa del país. Los polígonos son la unidad más pequeña de estudio y se definen de acuerdo a tres tipos, que los clasifican en función de la concentración de edificios: tipo 1, concentración alta; tipo 2, concentración media; tipo 3, concentración baja. Se han definido 26 polígonos para la región (Figura 2.6 y Anexo 2) en función de los criterios explicados anteriormente.

Se han definido 5 polígonos para *la Massana* y *Sant Julià de Lòria*, 4 para la parroquia de *Andorra la Vella*, *Canillo* y *Ordino* y 2 para las parroquias de *Encamp* y *Escaldes-Engordany*. Cada polígono tiene un código que se ha asignado en función del código de la parroquia más un número

de orden. Por ejemplo, para la parroquia de *Andorra la Vella* se han definido 4 polígonos, su codificación se realiza de la siguiente forma (ADXXXN): los cinco primeros dígitos son el código de la parroquia que en este caso es AD500, el siguiente número es N (número de orden) que para la parroquia escogida va de 1 a 4. Así pues, AD5001 pertenece al polígono con nombre *Andorra - Santa Coloma*, AD5002 pertenece al polígono de *Andorra*, AD5003 pertenece al de *Eixample Andorra* y AD5004 pertenece al de *la Comella*.

En la Tabla 1 del Anexo 2 se resume la información correspondiente a cada polígono; concretamente, para cada polígono, se consideran los siguientes datos: nombre del polígono, identificador (código de la parroquia a la que pertenece más un número de orden), tipología del polígono (ver Figura 2.7, habitantes del polígono, con el censo de 2003 (ver Figura 2.8), área del polígono, número de edificios de vivienda (ver Figura 2.9) y habitantes por edificio (ver Figura 2.10).

En la Tabla 2.1 y en la Figura 2.11 se muestran respectivamente los polígonos de las parroquias de *Andorra la Vella* y de *Escaldes-Engordany*. Para la parroquia de *Andorra la Vella* se han definido cuatro polígonos y para la parroquia de *Escaldes-Engordany* dos. Así, para la parroquia de *Andorra la Vella*, los polígonos 2 y 3 tienen una concentración de edificios tipo 1, es decir concentración alta, el polígono 1 tiene una concentración tipo 2, concentración media y el polígono 4 es un polígono tipo 3 que tiene una concentración baja.

Tabla 2.1. Divisiones para la parroquia de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany*, ver figura 2.11.

Parroquia	Divisiones	Tipo de Concentración
Andorra la Vella	1. Andorra – Santa Coloma	Tipo 2
	2. Andorra	Tipo 1
	3. Eixample	Tipo 1
	4. La Comella	Tipo 3
Escaldes-Engordany	5. Escaldes Centro	Tipo 1
	6. Engordany – Engolasteis	Tipo 2

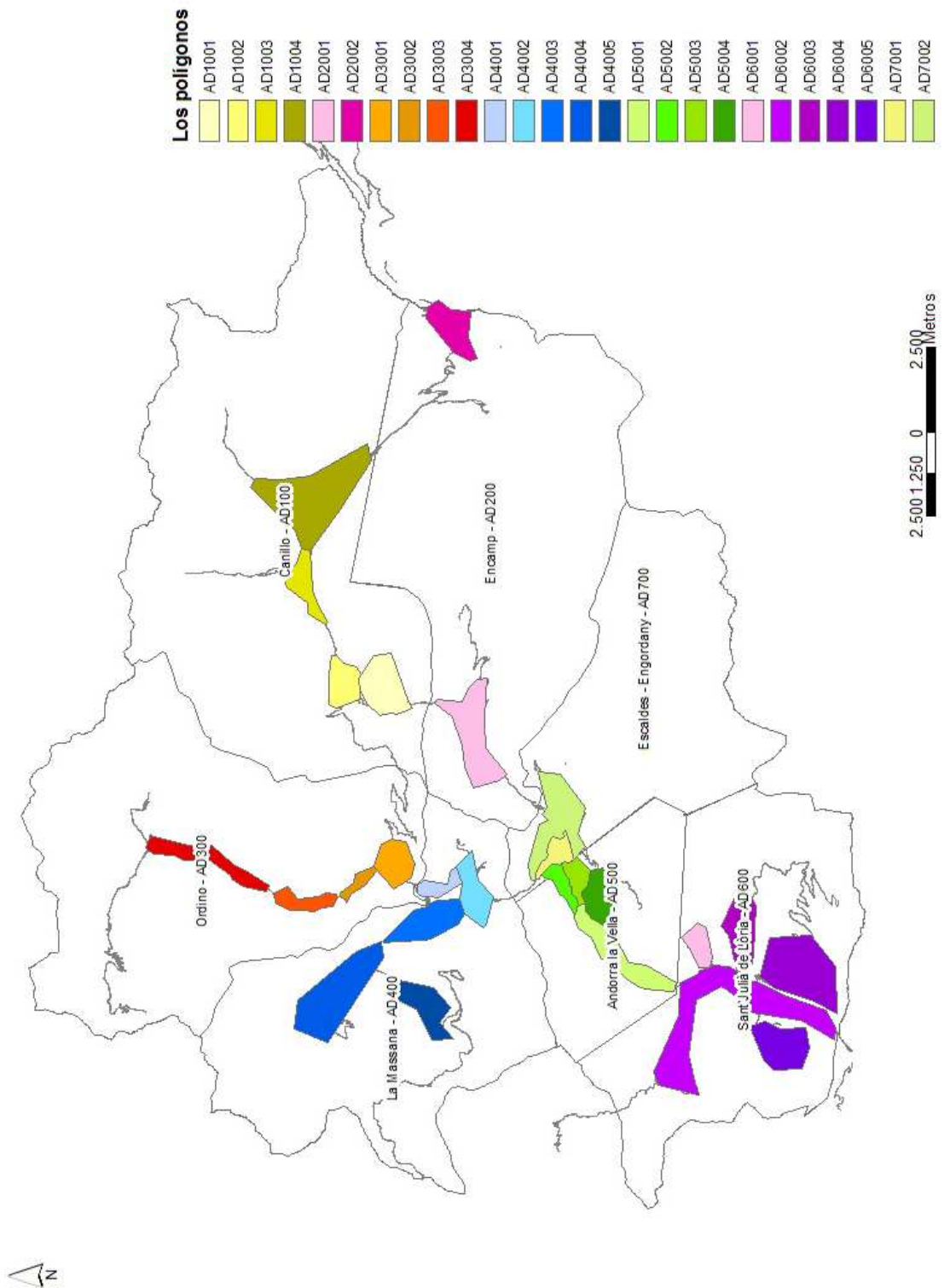


Figura 2.6. Definición de los polígonos para el Principado de Andorra.

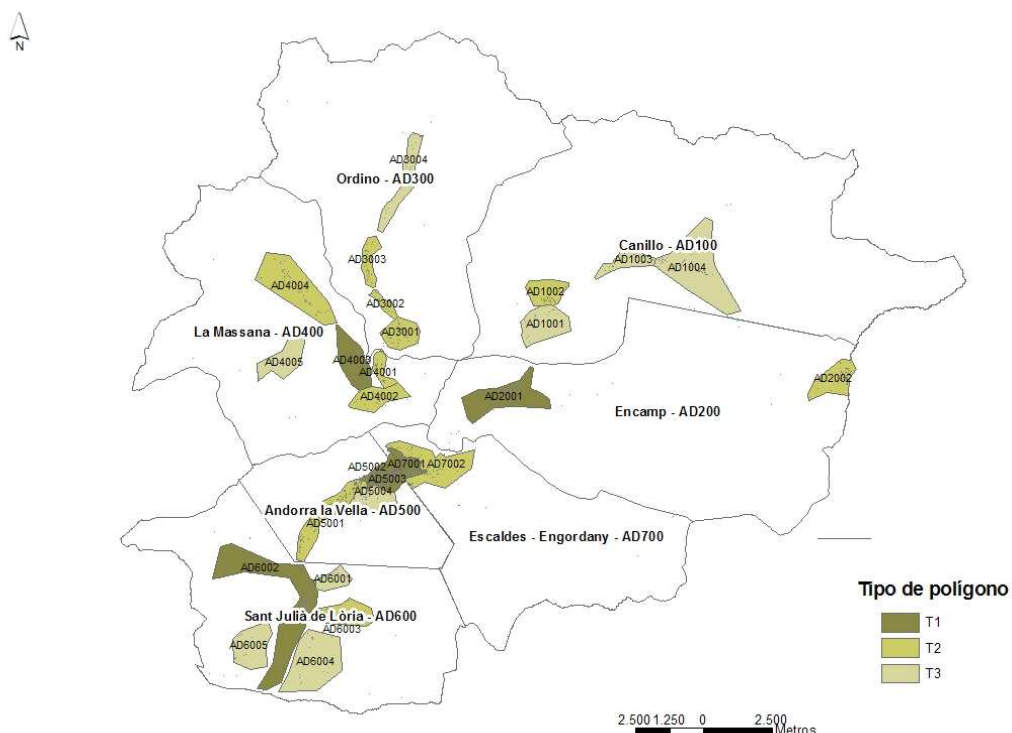


Figura 2.7. Tipos de polígonos según la concentración de edificios.

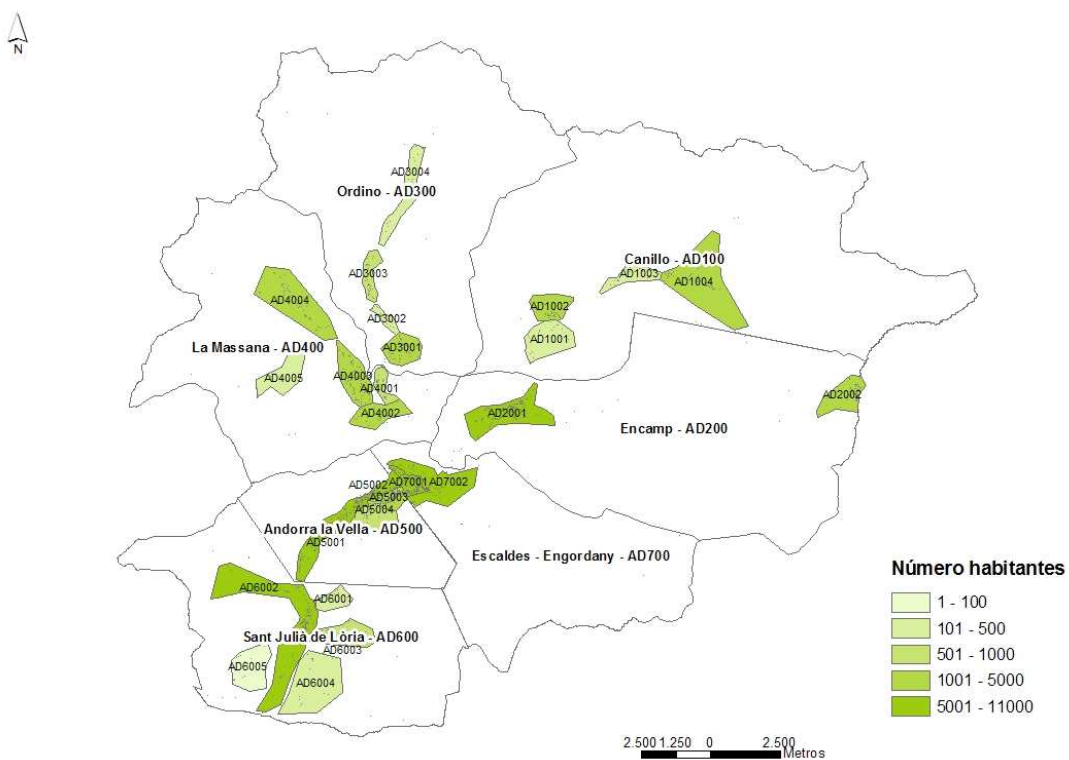


Figura 2.8. Habitantes por polígonos.

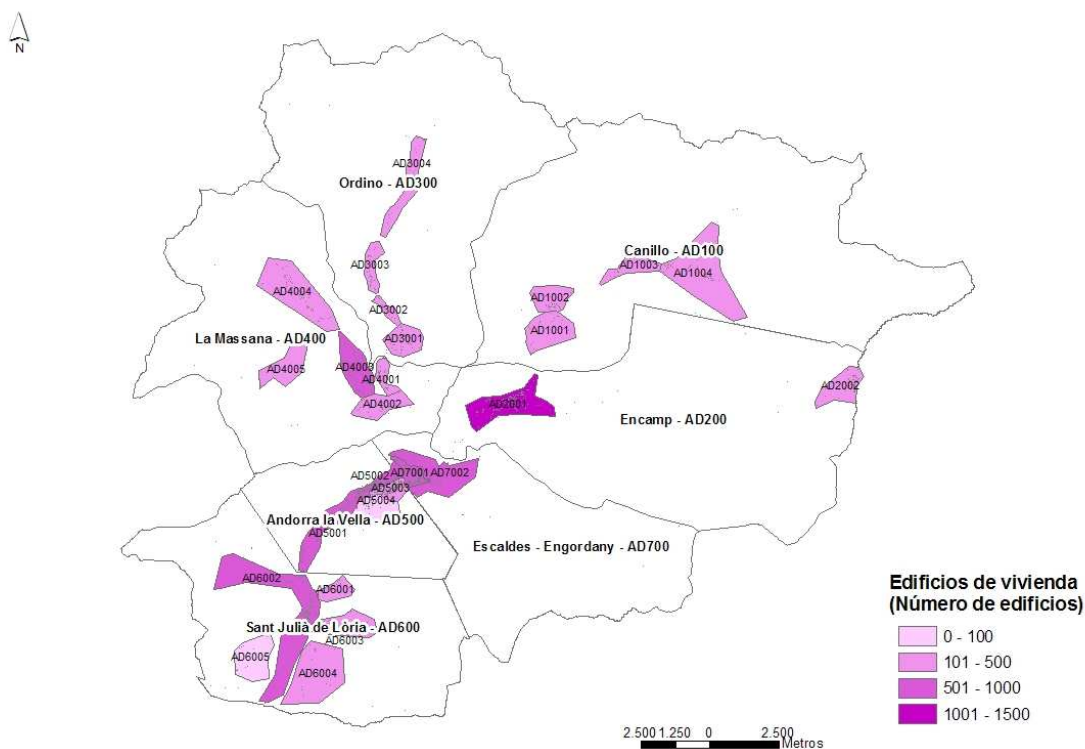


Figura 2.9. Edificios de vivienda por polígono.

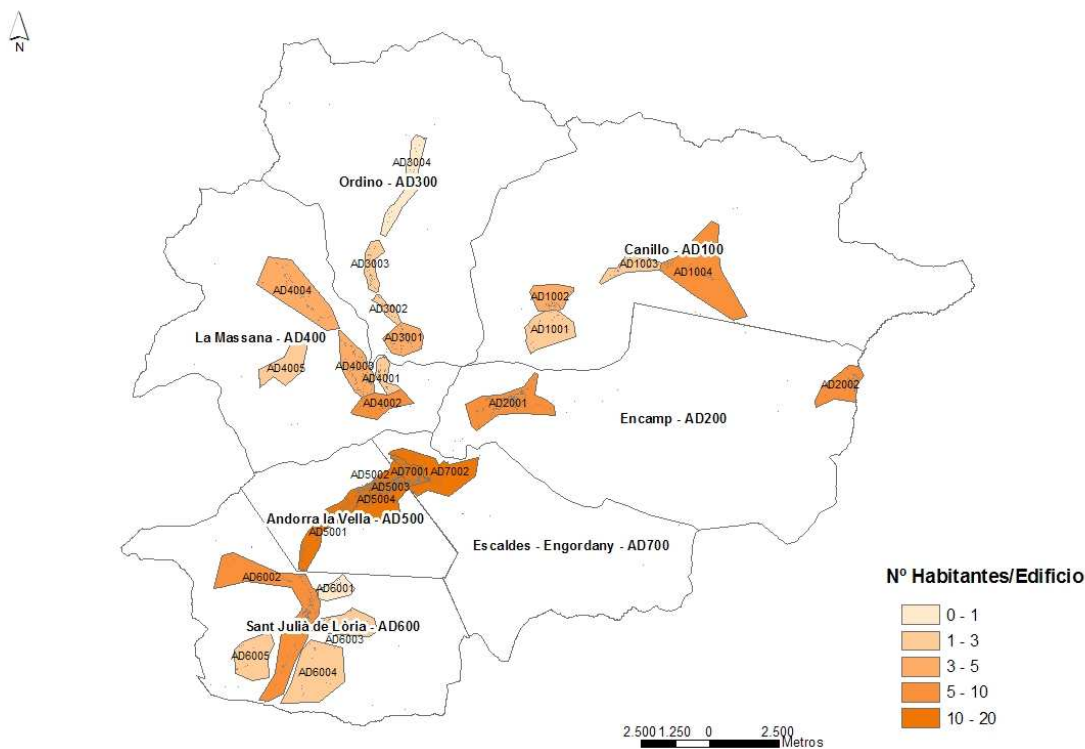


Figura 2.10. Habitantes por edificio.

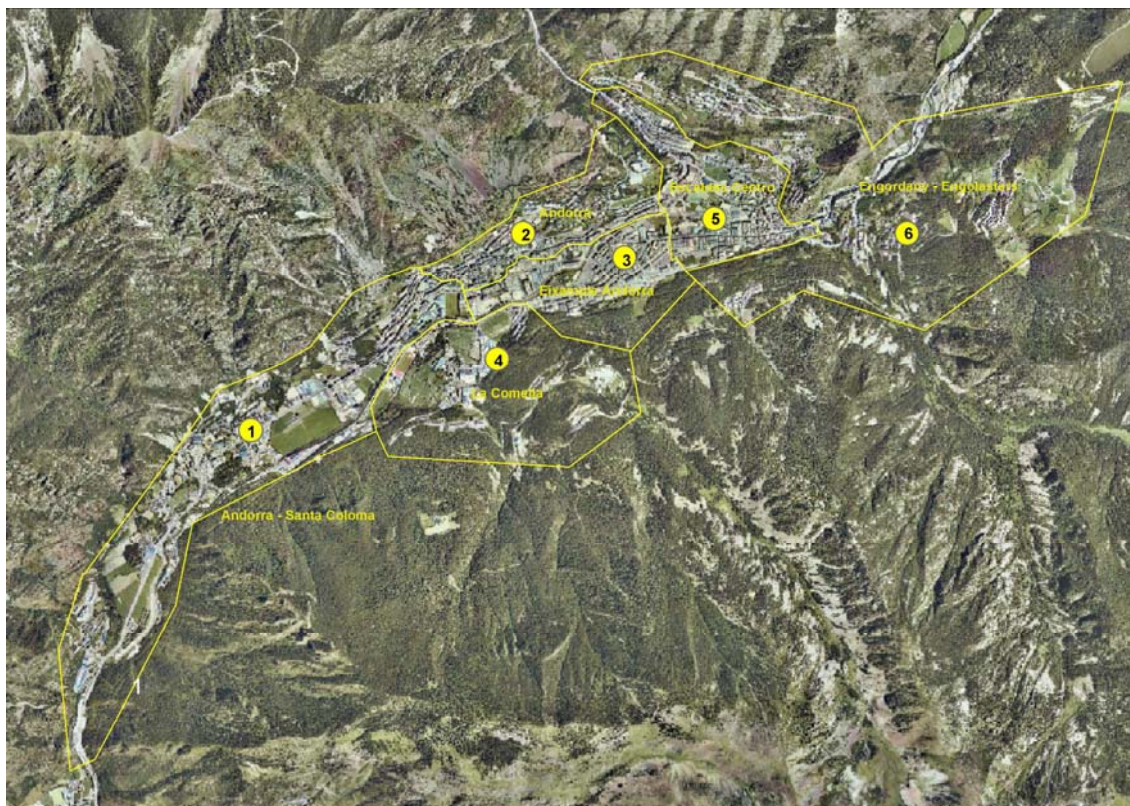


Figura 2.11. Polígonos para la parroquia de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany.

2.5 Población

El estudio de la población es uno de los parámetros más importantes para conocer la trayectoria política, social y económica que ha experimentado un país. Además el conocimiento de la población actual y de su distribución sobre el territorio es imprescindible a la hora de realizar estimaciones de las pérdidas humanas y del número de personas que podrían resultar heridas o perder sus viviendas como consecuencia de un terremoto. El censo de 2003 nos permitirá calcular la densidad de población que, junto con los datos de edificación (que se presentan en el Capítulo 4, correspondiente a los datos básicos de edificación y de población), permitirá la evaluación de las víctimas esperadas para los escenarios sísmicos que se analizarán en este estudio. Las particularidades económicas del Principado hacen que la población varíe a lo largo del día (noche/día), a lo largo de la semana (laboral/festivo) y a lo largo del año (vacaciones, puentes, etc.). Conocer estas variaciones, en zonas donde se están realizando estudios de riesgo sísmico, es muy importante para la realización de diferentes escenarios de daños a la población. Cuando no se tienen datos detallados se puede hacer una estimación a través del conocimiento de las plazas hoteleras.

La transformación que ha sufrido el Principado desde los años 50 del siglo pasado, debida a la metamorfosis en las estructuras económicas, demográficas y sociales del país, puede calificarse de excepcional (Vela, 2005). En un corto periodo de tiempo, el Principado experimenta un fuerte incremento de su economía, al transformarse de una economía de subsistencia a una economía basada en el turismo, acompañado de un crecimiento desmesurado del número de trabajadores extranjeros. La necesidad de incorporar mano de obra del exterior para poder mantener el intenso ritmo de crecimiento de la actividad económica del país, a final de los años cincuenta, ha hecho que la población pasara de ser de 6.176 personas en el año 1950 a 65.227 en 1993. En este periodo tan corto de tiempo la población residente andorrana se multiplicó casi por doce. Este hecho ha sido la causa de que el país se haya convertido en la zona del Pirineo con más densidad de población.

2.5.1 Población residente

Según el censo de 2003, la población residente de Andorra es de 72.320 personas. Las parroquias más pobladas son *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* que juntas representan más de la mitad de población de todo el Principado (Figura 2.12). En Andorra vive un 30% de la población del Principado y en *Escaldes-Engordany* un 23%. La parroquia menos poblada es la de *Ordino* con un 4% y le sigue *Canillo* con un 5%.

En la Figura 2.13 se ha representado la población residente para cada uno de sus 44 núcleos. Se observa que sólo dos núcleos, *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* tienen una población por encima de 15.000 habitantes seguidas de *Sant Julia de Lòria* y *Encamp* con 8.313 y 11.832 habitantes respectivamente (Anexo 2, Tabla 1). En la Tabla 2.2 y en la Figura 2.14 se muestra la evolución de la población por parroquias en los últimos 15 años. Se observa que en los últimos 15 años el Principado ha aumentado la población en más de 17.000 personas.

Al no existir un dato oficial de la densidad de población, ésta se ha calculado a partir del número de habitantes por parroquia y del área edificada de cada parroquia (Anexo 2). La densidad de población más alta la tiene la parroquia de Escaldes-Engordany seguida de Encamp y de Andorra la Vella con 1.726, 1.517 y 1.386 habitantes/km² respectivamente. La densidad de población más baja la tienen las parroquias de la Massana y Ordino con 654 y 709 habitantes/km².

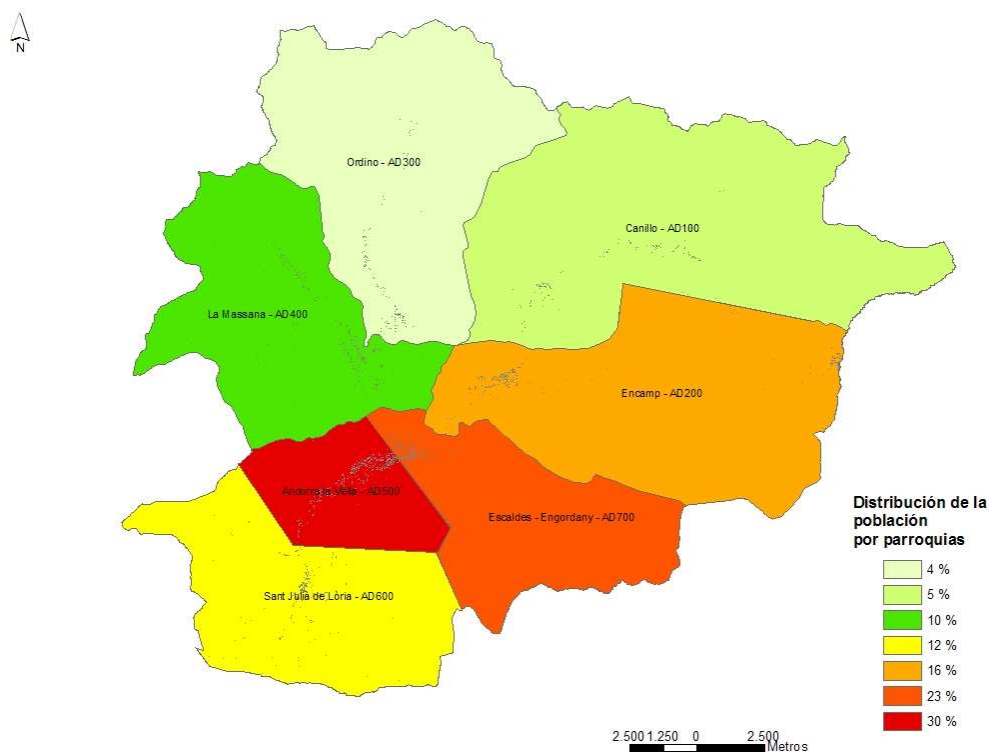


Figura 2.12 .Distribución de la población residente del Principado por parroquias.

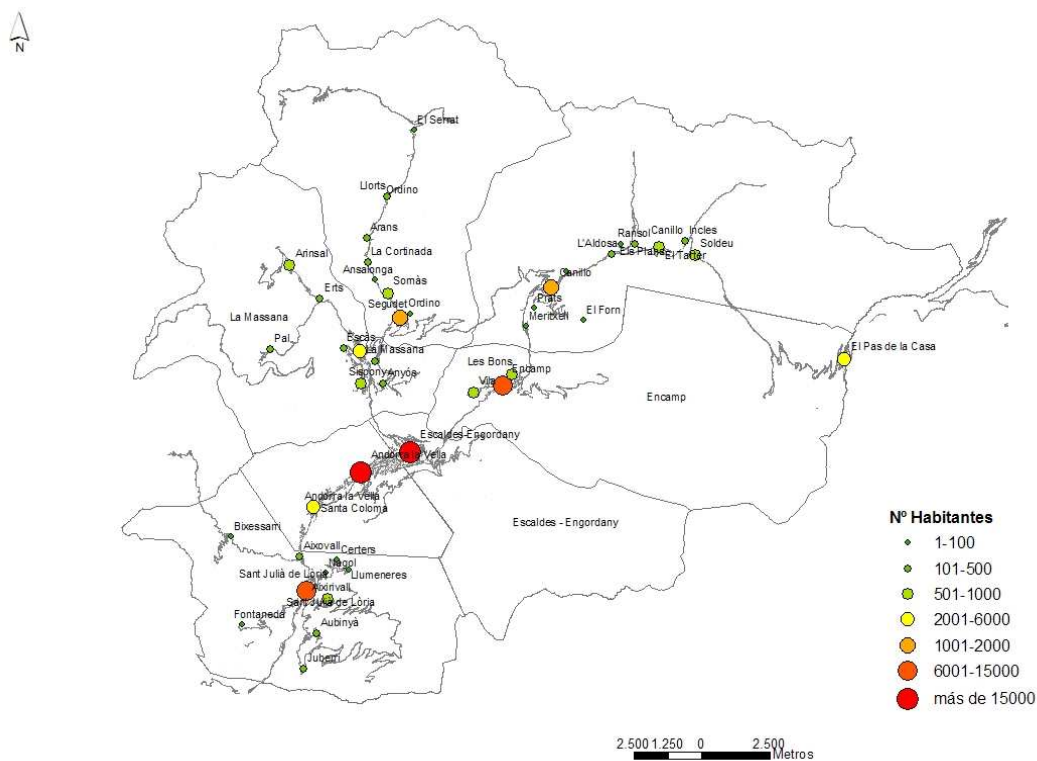


Figura 2.13. Distribución de la población residente de Andorra para todos los núcleos de las parroquias (Govern d'Andorra, 2003).

Tabla 2.2. Evolución de la población por parroquias del 1932 al 2003. Datos extraídos de Comas y Pujadas (1997) y de los Anuaris socioeconòmics (1996-2005). *Escaldes-Engordany se separa de Andorra la Vella en 1978.

Año	Canillo	Encamp	Ordino	La Massana	Andorra la Vella	Sant Julià	Escaldes-Engordany	Principat d'Andorra
1932	767	424	454	613	1.034	747	*	4.039
1944	702	640	550	649	1.980	770	*	5.291
1979	738	3.794	633	1.857	12.271	3.720	8.261	31.274
1987	1.235	6.077	1.140	3.457	19.151	5.737	12.136	48.933
1988	1.308	6.617	1.224	3.666	19.566	5.842	12.305	50.528
1989	1.290	7.119	1.289	3.868	19.013	6.012	12.235	50.826
1990	1.513	7.489	1.414	4.386	20.437	6.272	12.996	54.507
1991	1.915	8.680	1.582	4.989	22.205	6.905	12.772	59.048
1992	2.193	9.654	1.652	5.302	22.387	7.234	13.177	61.599
1993	2.311	10.184	1.726	5.526	22.821	7.418	15.241	65.227
1994	2.433	10.099	1.722	5.530	21.807	7.551	15.169	64.311
1995	2.430	9.360	1.835	5.544	21.984	7.446	15.260	63.859
1996	2.518	9.800	1.931	5.785	21.721	7.542	15.182	64.479
1997	2.645	10.163	2.098	5.874	21.630	7.637	15.259	65.306
1998	2.691	10.385	2.184	6.092	21.513	7.623	15.389	65.877
1999	2.706	10.595	2.283	6.276	21.189	7.623	15.299	65.971
2000	2.808	10.576	2.291	6.280	20.845	7.647	15.397	65.844
2001	3.014	10.627	2.366	6.375	20.787	7.646	15.519	66.334
2002	3.205	10.772	2.485	6.660	20.724	7.785	15.528	67.159
2003	3.707	11.832	2.767	7.264	22.035	8.313	16.402	72.320
2005	4.225	13.491	3.183	7.973	23.346	9.162	16.918	78.298

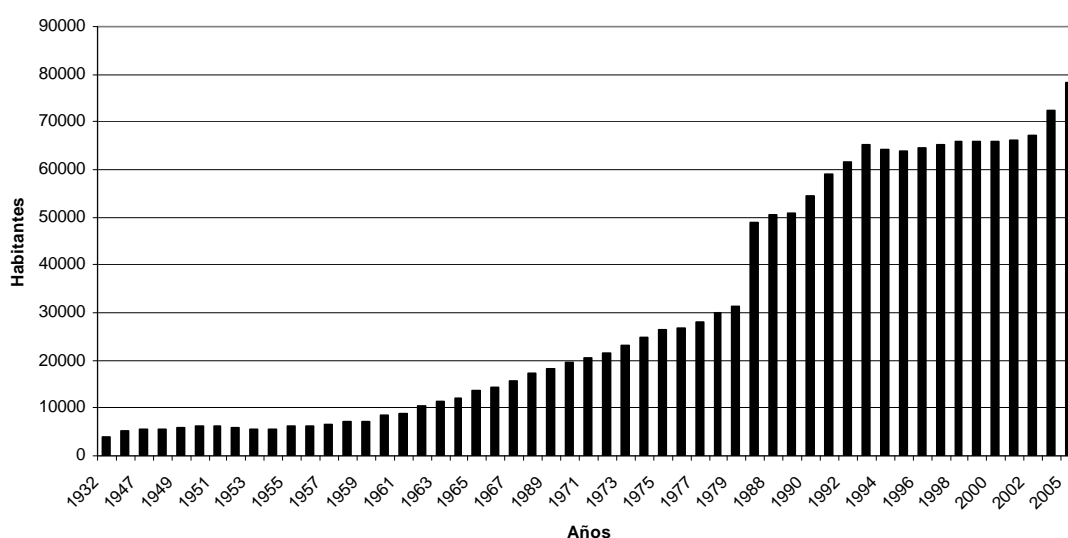


Figura 2.14. Evolución de la población en el principado de Andorra. Fuentes: J.M Bricall et al. (1975); M Palau (1978); B. Adellach y R. Ganyet (1977); M.J. Lluelles (1991). Estadístiques de població del Ministeri de Justícia i Interior.

2.5.2 Población flotante y presión humana

El Principado tiene dos particularidades que lo hacen especial en cuanto al flujo de población; por una parte, su carácter fronterizo y su situación económica hacen que cada día entren a trabajar personas que viven en los países vecinos, y que poseen un permiso transfronterizo de trabajo. Por otra parte, al ser un país dedicado al turismo, cada día entran por la frontera un número importante de turistas y excursionistas. Recientemente se ha realizado un estudio sobre la “*Petjada ecològica d’Andorra*” (Oliveres *et. al.*, 2005) donde se ha calculado la población real que hay en un día en Andorra (Tabla 2.3), llamada “*presión humana*”. Este dato se ha calculado considerando las siguientes premisas:

- La población residente se considera fija.
- Para calcular el número de fronterizos por día se ha considerado que estos sólo están en Andorra cinco días por semana y que disfrutan de un mes de vacaciones al año.
- El número de excursionistas y de turistas se calculan a partir de una media donde una pernocta de turista se considera igual a un día de estancia.

Así que el número de personas/día que hay en Andorra es alrededor de 124.000 personas (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Población flotante y número de personas / día extraído de Oliveres *et. al.*, 2005.

Tipología	Periodo	Población flotante	Número de personas/día
Población residente	2004	76.875	76.875
Fronterizos	2004	1.600	1.600
Excursionistas	Set-2003 - Agosto-2004	8.889.487	24.252
Turistas	Set-2003 - Agosto-2004	2.879.937	21.257
Total			123.401

2.5.3 Plazas hoteleras

En la Tabla 2.4 se presenta el número de establecimientos con plazas hoteleras y la cantidad de habitaciones totales por parroquia. Estos datos se han extraído del “Anuari socioeconòmic 2004”. El Principado cuenta con un total de 13.722 habitaciones repartidas en 282 establecimientos hoteleros.

Tabla 2.4. Nivel de ocupación hotelera, en %, en el ejercicio 2002-2003.

Parroquias	Establecimientos	Habitaciones
Andorra la Vella	54	2.741
Escaldes-Engordany	42	2.417
Sant Julià de Loira	11	618
Encamp	74	3.670
Ordino	23	662
La Massana	41	1.924
Canillo	37	1.690
Total	282	13.722

2.6 Otros datos

2.6.1 Superficie media por vivienda

A partir del informe realizado por el *Ministeri d'Ordenament Territorial del Govern d'Andorra*, que contiene los datos sobre los permisos de construcción de nueva obra, otorgados por el gobierno durante el año 2005, y la comparación con las que desde el año 1981 el *Servei de Construcció i Urbanismo* recogió para tener una visión de la evolución del sector de la construcción, se ha realizado una estimación de la superficie media por vivienda para cada una de las parroquias. Los datos que se recogían en este informe, entre otros, eran la distribución de la vivienda por m², en el periodo de 1981 a 2005, por parroquia. Los datos están distribuidos de la siguiente forma: nº de viviendas con una superficie de 24 a 50 m², nº de viviendas con una superficie de 51 a 70 m², nº de viviendas con una superficie de 71 a 80 m², nº de viviendas con una superficie de 81 a 90 m², nº de viviendas con una superficie de 91 a 100 m², nº de viviendas con una superficie de 101 a 110 m², nº de viviendas con una superficie de 111 a 130 m² y nº de viviendas con una superficie de más de 130 m².

La Tabla 2.6 muestra un ejemplo, para la parroquia de *Andorra la Vella*, de los datos existentes por parroquia. Para cada año, desde 1981 hasta 2005, la Tabla contiene el número de viviendas que corresponde a cada grupo. La última fila corresponde al número total de viviendas construidas cada año. A consecuencia de la suspensión de licencias de construcción estipuladas en la Ley de modificación puntual y urgente de la *Llei General d'Ordenació del Territori i Urbanismo*, de ahora en adelante LGOTU, del 23 de mayo de 2003, los datos de dar licencia del año 2005 no reflejan la tendencia de la demanda de la construcción en Andorra. En el año 2005 se otorgaron un 70.10 % menos de superficie de construcción que el año 2004.

Tabla 2.5. Tipos de vivienda por superficie de vivienda.

Tipo	Descripción
V ₁	De 24 a 50 m ²
V ₂	De 51 a 70 m ²
V ₃	De 71 a 80 m ²
V ₄	De 81 a 90 m ²
V ₅	De 91 a 100 m ²
V ₆	De 101 a 110 m ²
V ₇	De 111 a 130 m ²
V ₈	De más de 130 m ²

Tabla 2.6. Distribución de las viviendas por superficie de vivienda, ejemplo de la parroquia de Andorra la Vella. Ministeri d'Ordenament Territorial del Govern d'Andorra, 2006.

Tipo	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
V ₁	105	73	18	0	16	0	10	38	21	1
V ₂	99	52	63	7	8	3	16	8	35	8
V ₃	41	36	20	5	0	6	7	1	64	8
V ₄	140	38	46	16	0	3	6	14	20	5
V ₅	49	56	6	0	0	1	0	4	37	33
V ₆	3	72	2	1	0	3	21	27	34	10
V ₇	2	13	0	4	0	0	9	51	15	38
V ₈	9	7	3	0	3	5	26	27	18	32
Total	448	347	158	33	27	21	95	170	244	135

Tipo	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
V ₁	25	83	0	36	6	64	8	0	49	0
V ₂	33	69	10	130	79	52	5	25	0	0
V ₃	33	11	0	25	23	85	11	14	2	0
V ₄	50	6	10	13	16	53	23	40	46	21
V ₅	12	22	0	18	15	47	0	7	24	12
V ₆	13	34	0	0	5	13	0	6	0	1
V ₇	17	20	5	0	9	12	1	10	7	23
V ₈	11	16	5	15	48	11	1	45	46	38
Total	194	261	30	237	201	337	49	147	174	95

Tipo	2001	2002	2003	2004	2005
V ₁	2	9	32	29	0
V ₂	60	22	56	13	0
V ₃	13	16	34	35	3
V ₄	77	25	104	8	1
V ₅	24	14	47	9	0
V ₆	38	9	54	39	1
V ₇	54	14	62	29	1
V ₈	33	17	30	32	5
Total	301	126	419	194	11

En la Figura 2.15 se ha representado para cada parroquia el porcentaje de edificios totales que corresponde a cada grupo. Se observa que parroquias como *Canillo* y *Encamp* tienen un porcentaje muy elevado de viviendas con superficie entre 24 y 50 m² y 51 y 70 m², mientras que parroquias como *la Massana* y *Ordino* tienen un porcentaje muy elevado de viviendas con superficie entre 111 y 130 m² y más de 130 m².

Para calcular la superficie media de vivienda por parroquia se ha realizado la media ponderada de los datos de los últimos 25 años. Para las parroquias de *Ordino*, *Sant Julià de Lòria* y *Escaldes-Engordany* la superficie media por vivienda está alrededor de los 100m²/vivienda. Las parroquias que tienen una superficie media por vivienda más pequeña son las parroquias de *Canillo* y de *Encamp* con 58 y 65 m²/vivienda respectivamente (Tabla 2.7).

Tabla 2.7. Superficie media por vivienda en las diferentes parroquias.

Núm	CODI_INE	Población	m ² / vivienda
1	AD100	Canillo	58
2	AD200	Encamp	65
3	AD300	Ordino	100
4	AD400	La Massana	98
5	AD500	Andorra la Vella	86
6	AD600	Sant Julià de Lòria	97
7	AD700	Escaldes - Engordany	95

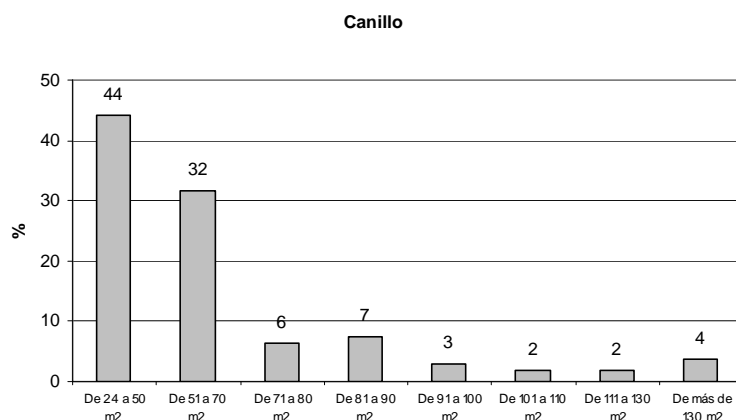


Figura 2.15a. Distribución para la parroquia de *Canillo* de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.

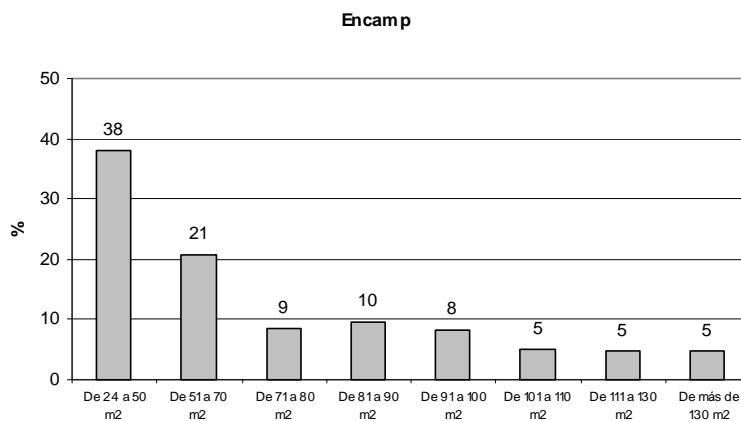


Figura 2.15b. Distribución para la parroquia de Encamp de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.

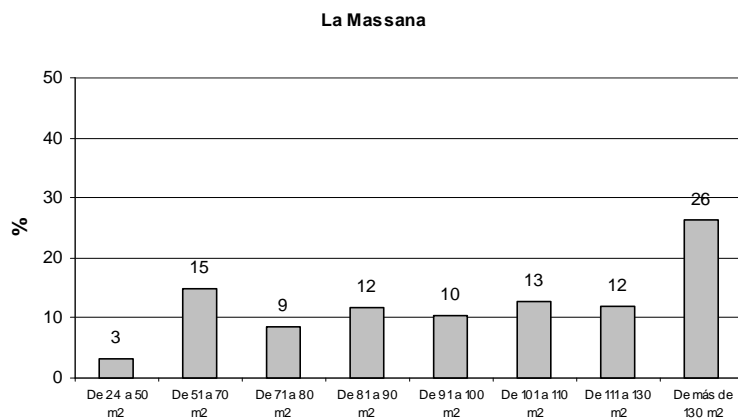


Figura 2.15c. Distribución para la parroquia de la Massana de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.

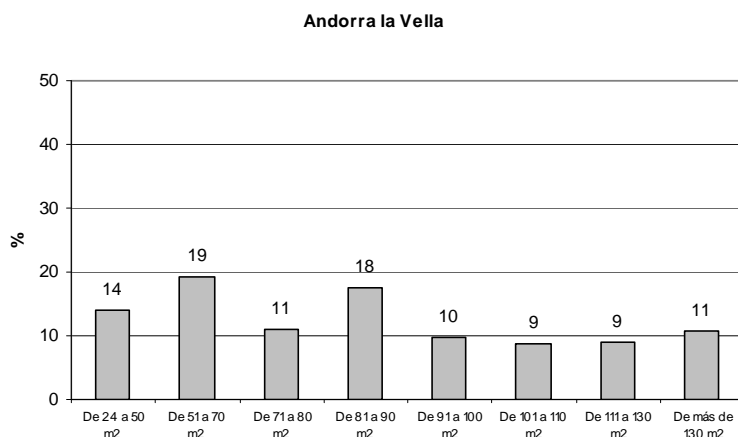


Figura 2.15d. Distribución para la parroquia de Andorra la Vella de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.

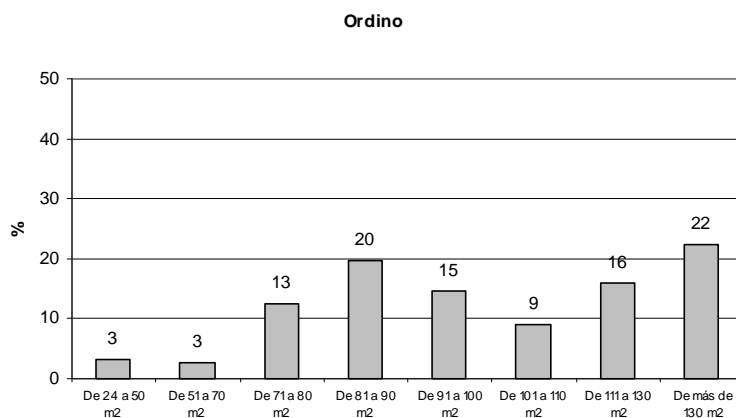


Figura 2.15e. Distribución para la parroquia de Ordino de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.

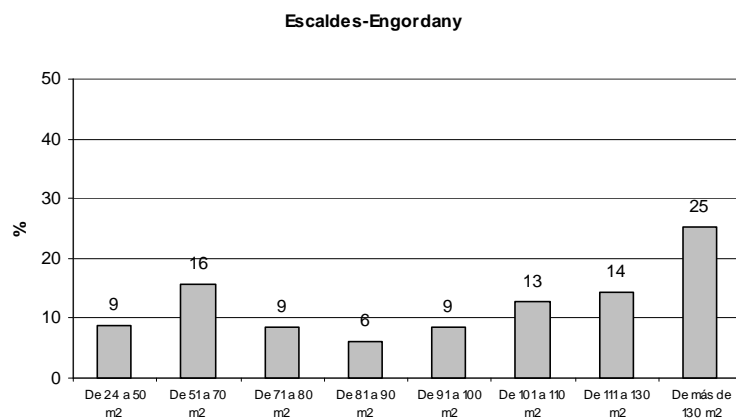


Figura 2.15f. Distribución para la parroquia de Escaldes-Engordany de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.

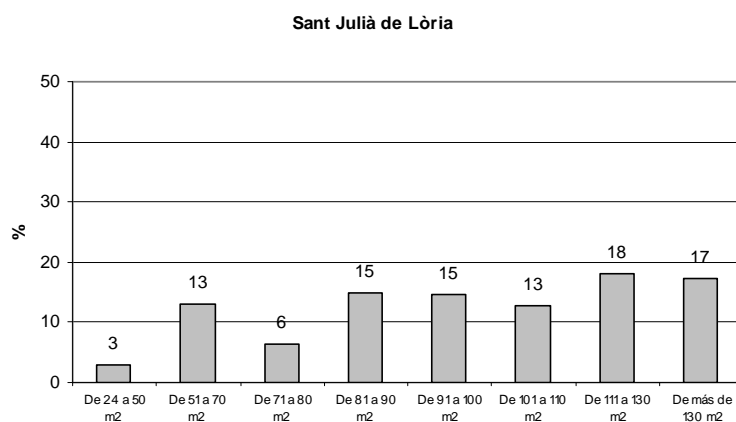


Figura 2.15g. Distribución para la parroquia de Sant Julià de Lòria de los porcentajes de edificios que corresponde a los diferentes grupos de clasificación de superficie por vivienda.

2.6.2 Coste de la construcción

Después de la entrevista realizada a los técnicos de dos empresas privadas, la ingeniería Enginesa y la promotora CMS S.L., se ha estimado que el coste de construcción por metro cuadrado es de 1.200 euros/m², precios que no tienen en cuenta ni el valor del suelo, ni el del desescombro de las ruinas en caso de fallo de la edificación.

2.6.3 Carreteras

Al Principado se accede por carretera, desde España por la N-145 de la *Seu d'Urgell* a Andorra y desde Francia por la N-20 de *Bourg-Madame* a *Ax-les-Thermes* y la N-22 en el *Pas de la casa*. La red de carreteras del Principado (Figura 2.16) tiene un trazado condicionado por las características singulares del relieve de montaña. La zona de la *cabeta de Andorra* (*Andorra la Vella Escaldes-Engordany*) está situada geográficamente en el valle del Valira, y es en esta zona donde se unen las carreteras que van a todos los puntos del país y las que enlazan Andorra con los países vecinos. El corte de esta carretera supondría un problema muy grave en el caso de una emergencia.

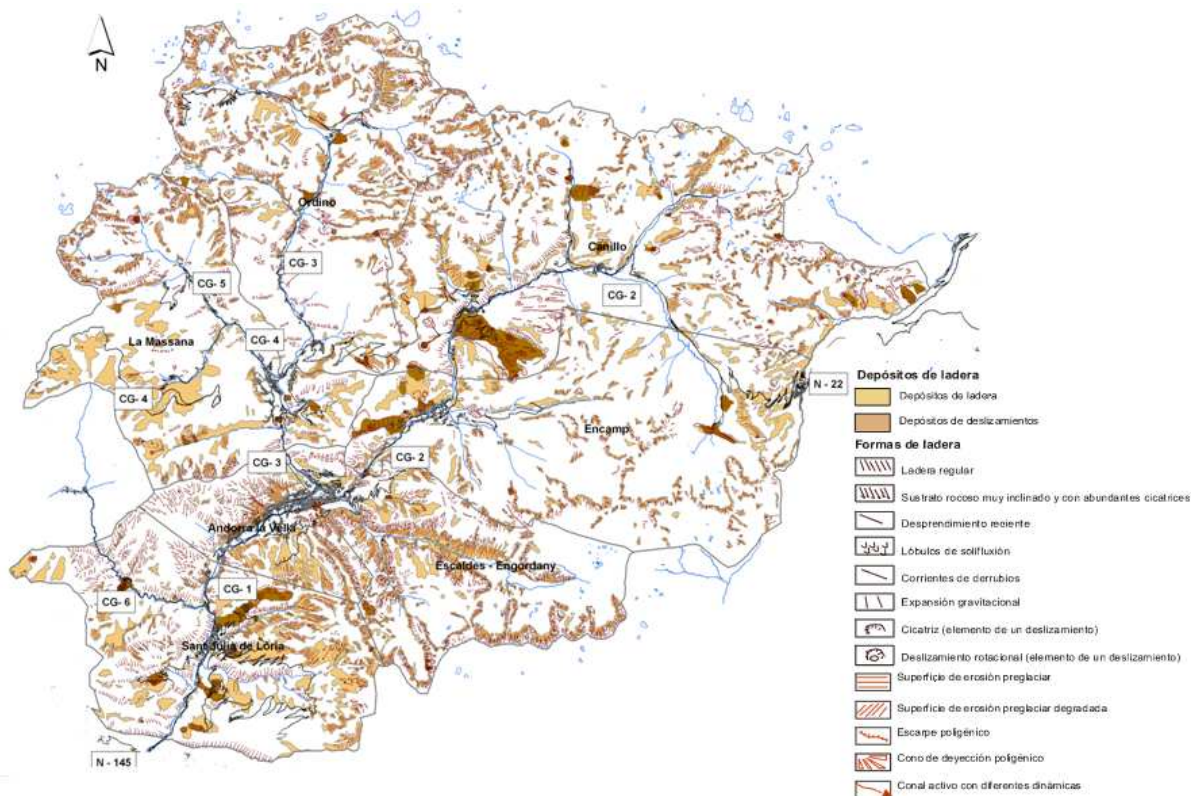


Figura 2.16. Principales vías de comunicación del Principado.

2.6.4 Otros elementos en riesgo

A parte de la alta densidad de población, y de su gran variación temporal a lo largo del año, o de la gran concentración de edificios de vivienda, entre otros, existen otros elementos en riesgo que hacen del Principado una zona particular a la hora de realizar estudios de evaluación del riesgo sísmico. Por una parte, la distribución de los edificios esenciales o de especial importancia en la zona de la *cupeta de Andorra* (Figura 2.17), donde se concentra el 50% de la población de todo el país, como: hospitales, centros o instalaciones sanitarias de cierta importancia: Cruz Roja, *Servei Urgent mèdic*, *Grup de rescat de muntanya*; edificios e instalaciones básicas de comunicaciones como radio y televisión; edificios para centros de organización y coordinación de funciones en casos de desastre como polideportivos, centros de congresos, escuelas, etc.; edificios para el personal y los equipos de ayuda y de toma de decisiones, como edificios de bomberos, policía, edificio de gobierno y embajadas, *comuns*, etc.; depósitos de agua, depósitos de combustibles, centrales eléctricas; vías de comunicación como puentes, muros, etc. y por otra, la distribución de estos elementos, en menor proporción, en las otras cinco parroquias.

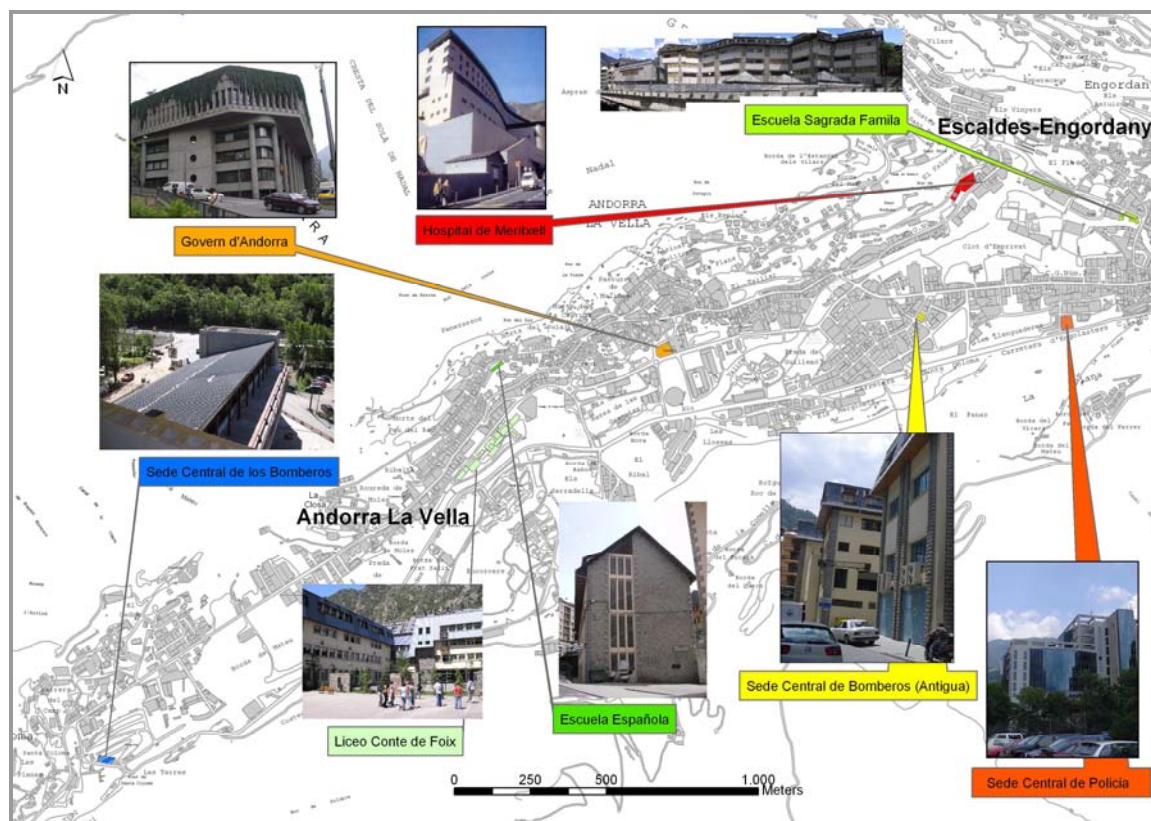


Figura 2.17. Ejemplo de situación de algunos de los edificios de especial importancia de la cupeta de Andorra la Vella evaluados en el proyecto ISARD.

2.7 Resumen

El Principado de Andorra es un país situado en la vertiente mediterránea de los Pirineos orientales, entre España y Francia. Tiene una extensión de 468 km², aunque sólo un 15% es urbanizable. La transformación de una sociedad pobre, fundamentalmente agrícola y ganadera a principios del Siglo XX, a una sociedad de carácter cosmopolita, urbanizado y comercial, en la segunda mitad del Siglo XX, ha sido la causante del desarrollo urbanístico y del aumento de población que se ha producido en el país. Según el Censo del 2003, Andorra posee una población residente de 72.320 habitantes (Govern d'Andorra, 2003). Con todo, existe un importante sector de población permanente no residente que trabaja en Andorra y una gran variación temporal de la población a lo largo del año debido a las actividades económicas y al turismo. En verano y en otros períodos vacacionales Andorra puede superar las 124.000 personas / día (Oliveres *et. al.*, 2005).

El trazo de la red de carreteras del Principado está condicionado por las características singulares del relieve de montaña y por la presencia de dos valles que se unen en el valle del Valira. Adaptándose a este relieve, se desarrollan los núcleos de población y la red de carreteras crece paralela a los ríos conectando los núcleos de población. La zona de la *cupeta de Andorra* (Andorra la Vella Escaldes-Engordany) está situada geográficamente en el valle del Valira, y es en esta zona donde se unen las carreteras que van a todos los puntos del país y donde se concentran la mayoría de los edificios esenciales del país, además es el único punto de distribución de carreteras para todo el Principado y hace de enlace con los países vecinos. El colapso de la red de carreteras en este punto tendría consecuencias importantes en caso de emergencia.

La organización administrativa de Andorra en parroquias, junto con los datos disponibles para los núcleos urbanos que la forman, han condicionado la elección de las unidades de estudio que se utilizan en este trabajo. Se han definido dos unidades de estudio: las parroquias (7) y los polígonos (26). Esta organización territorial junto con los datos de edificios y población que aquí se han descrito y los que se describen en el Capítulo 4 constituyen la base de información que se usará para desarrollar el estudio del riesgo sísmico en el Principado.

3 Métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica

3.1 Introducción

Uno de los objetivos de este estudio es clasificar los edificios del Principado en clases e índices de vulnerabilidad. Este estudio permitirá la estimación de los daños que un terremoto puede causar sobre el conjunto de los edificios. La combinación del estudio de peligrosidad sísmica junto con el de vulnerabilidad nos permitirá la elaboración de escenarios de daños que serán de utilidad a los organismos encargados de la gestión de la emergencia. Los resultados sirven, antes del sismo, como herramienta para desarrollar políticas de prevención de desastres sísmicos y, después del sismo, como herramienta para la gestión de la emergencia.

La vulnerabilidad sísmica es uno de los componentes necesarios para la evaluación del riesgo sísmico en una región. Ésta se relaciona con el grado de daño esperado en una estructura o grupo de ellas en el caso de ser sometida a la acción de un terremoto de una intensidad dada. La vulnerabilidad es propia de cada estructura y es independiente de la peligrosidad del lugar. Esto significa que una estructura puede ser vulnerable y no estar en riesgo porque está ubicada en una zona sin peligrosidad sísmica. La vulnerabilidad de las estructuras depende principalmente de sus características de diseño y construcción, incluyendo la geometría, la calidad de los materiales, la antigüedad y la altura, entre otras propiedades. Los estudios de vulnerabilidad sísmica son previos a la determinación del riesgo sísmico, cuya evaluación es fundamental para la prevención y protección frente a terremotos incluyendo, entre otros aspectos, la elaboración de planes de mitigación de catástrofes producidas por terremotos y la gestión de la emergencia. Estos estudios no sólo se realizan en edificios de vivienda, sino que son muy convenientes también en edificios esenciales e instalaciones industriales así como en otras infraestructuras que se conocen como líneas vitales y que incluyen, entre otros, puentes, carreteras, ferrocarriles, redes de distribución de gas y redes eléctricas.

Son muchas las metodologías desarrolladas a nivel mundial para llevar a cabo estudios de evaluación de la vulnerabilidad sísmica en distintas regiones (Dolce *et al.*, 1994; FEMA, 1998, 2002, 2003; Freeman, (1998a, 1998b); Giovinazzi y Lagomarsino, 2004; Faccioli, 1997; Faëh *et al.*, 2001; Erdik *et al.*, 2003, 2004). Pero, la aplicación de una u otra metodología dependerá, por una parte, del nivel de actividad sísmica de la región donde se vaya a aplicar y, por otra, de la cantidad de información disponible en ésta. En este trabajo, se han escogido dos metodologías: una basada en clases de vulnerabilidad (Chávez, 1998; Roca *et al.*, 2006) y otra basada en índices de vulnerabilidad (Lagomarsino *et al.*, 2002; Giovinazzi, 2005). La metodología basada en clases

de vulnerabilidad ha sido utilizada para desarrollar el plan de emergencias sísmicas de Cataluña (Susagna *et al.*, 2006) y como herramienta para simular escenarios de daños específicos en Cataluña (González *et al.*, 2000; RSE, 2003; Roca *et al.*, 2006) y en España (Barranco e Izquierdo, 2000). La metodología basada en índices de vulnerabilidad se ha utilizado en el proyecto Risk-UE para evaluar 7 ciudades de Europa: Barcelona (España), Lantada *et al.* (2004), Bucarest (Rumania), Catania (Italia), Sofía (Bulgaria), Bitola (Yugoslavia), Thessaloniki (Grecia) y Niza (Francia).

En este capítulo se explican de forma detallada las dos metodologías utilizadas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en el Principado de Andorra.

3.2 Metodología basada en clases de vulnerabilidad según la escala EMS'98

La metodología basada en clases de vulnerabilidad utilizada en este trabajo fue desarrollada por Chávez (1998) para Cataluña en su tesis doctoral. A continuación se realiza una descripción de las principales características del método.

3.2.1 Características generales del método

Una de las ventajas de esta metodología, es que permite paliar, en cierto sentido, la falta de información existente en muchas regiones donde se quiere realizar la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional, como es el caso del Principado de Andorra. Asimismo permite obtener resultados globales, a gran escala, sobre el riesgo sísmico de la región donde se aplica. El método se utiliza aquí para edificios de vivienda. A continuación se describen sus principales características.

La primera característica es que tiene un enfoque estadístico. Lo que permite su uso masivo con relativamente poca información sobre la edificación. Además, esta información habitualmente se halla disponible en los catastros y bases de datos de edificación, y no suele requerir trabajo de campo. Este enfoque implica que los resultados que se obtienen para cada población, que suele ser la unidad de trabajo escogida en esta metodología, se refieren siempre a valores globales, por lo que no se puede dar información pormenorizada referente a edificios individuales.

La segunda característica es que la acción sísmica se define mediante la noción de intensidad macrosísmica. Ésta variable, a pesar de ser una medida de los efectos de los terremotos con cierto grado de subjetividad, presenta la ventaja de poder ser utilizada en el análisis completo del riesgo sísmico. Los mapas de peligrosidad sísmica que nos indican el movimiento a esperar en

cada lugar, de manera determinista o bien asociado a una probabilidad, son expresados frecuentemente en términos de intensidad macrosísmica. Las tipologías constructivas, por otra parte, pueden ser sin demasiada dificultad expresadas según las tipologías definidas en las escalas de intensidad y finalmente, los daños a esperar para una cierta intensidad pueden ser deducidos a partir de matrices de probabilidad de daños acordes con estas escalas. De esta forma es posible desarrollar escenarios sísmicos con una estimación de daños físicos a las personas y de pérdidas económicas, todo ello a través de una determinada escala de intensidad macrosísmica. En este trabajo se usa la Escala Macrosísmica Europea de 1998.

3.2.2 Matriz de edificios y vulnerabilidad

La aplicación de esta metodología puede resumirse en dos etapas: la primera consiste en clasificar los edificios de vivienda y la segunda consiste en la evaluación de su vulnerabilidad.

La clasificación se realiza de acuerdo a las clases de vulnerabilidad de la escala EMS'98, dónde la clase de vulnerabilidad A representa a la clase más vulnerable y la clase de vulnerabilidad E y F a las menos vulnerables (Figura 3.1 y Anexo 3), usando los datos contenidos en un inventario relativo a la edad, altura y localización de las edificaciones (Capítulo 4) y teniendo en cuenta tanto los criterios de la escala de intensidad como las particularidades de la construcción de la región. La Tabla 3.1 muestra la distribución de clases de vulnerabilidad para Cataluña propuesta por Chávez (1998) y definida con ayuda de la experiencia de técnicos del área de la construcción (Maña, 1995). Ésta se ha realizado principalmente en base a la edad de construcción, al número de plantas, y a su carácter rural o urbano, pero también se tuvieron en cuenta otras características como el estado de conservación de los edificios.

La edad fue el parámetro escogido para llevar a cabo la agrupación de las edificaciones de Cataluña en clases de vulnerabilidad de la escala EMS'98. En base a este parámetro se ha hecho una clasificación basada en tres periodos constructivos que representan los mayores cambios experimentados por las construcciones de la región, ya sea por la introducción de nuevos materiales de construcción, nuevas técnicas, mejora de la mano de obra, entre otros aspectos. Así, por ejemplo, se ha considerado que un 25% de los edificios construidos a partir de 1970 son de hormigón armado. Para el periodo 1951-1970 se estimó que todos los edificios fueron construidos en fábrica de ladrillo y que los anteriores a 1951 se habían levantado en mampostería de piedra.

La altura de las edificaciones se clasificó de acuerdo a 3 niveles, el primero define los edificios bajos (menos de 12 metros, < 5 plantas), el segundo los edificios altos (más de 18 metros, > 5 plantas) y el tercero un nivel intermedio (15 metros, igual a 5 plantas). El límite de 12 metros, es la altura en el que las paredes son suficientemente resistentes para soportar las cargas gravitatorias con amplia seguridad (con la excepción de que algunos “pisos principales” de cuatro metros de altura con paredes de 15 centímetros de grueso no son suficientemente seguros). Y con 18 metros los muros están prácticamente en régimen de tensiones admisibles máximas. (Mañà, 1995).

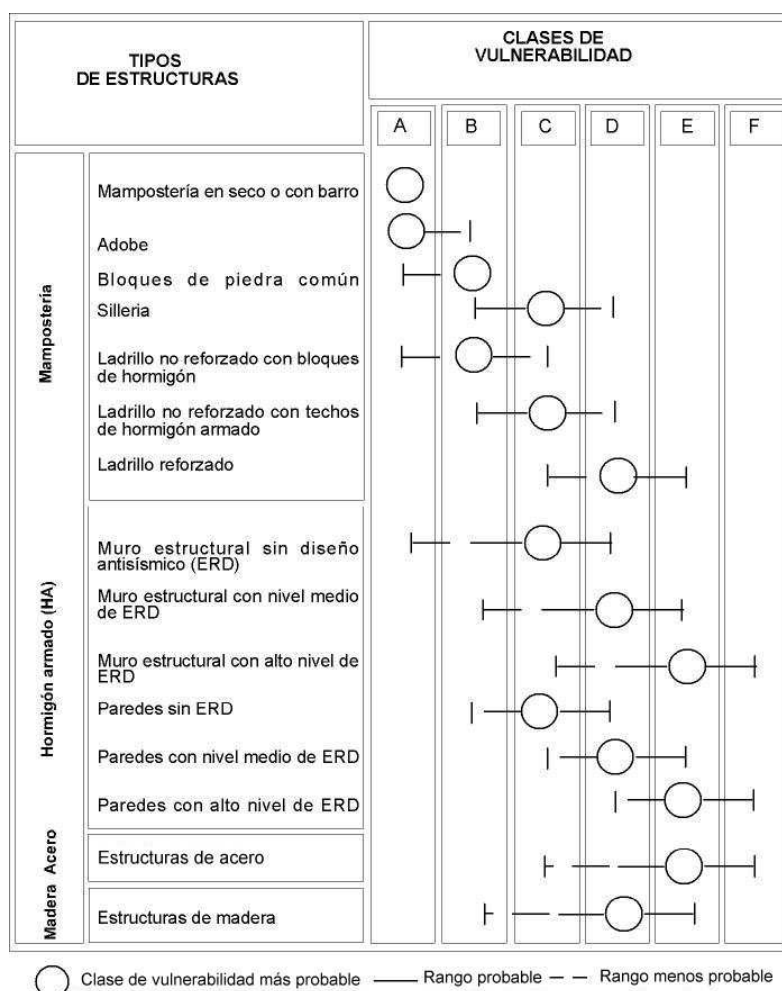


Figura 3.1. Clases de vulnerabilidad de la escala EMS 98.

Otro parámetro utilizado fue el nivel de arriostramiento de las edificaciones. A partir del conocimiento de la edad del edificio es posible estimar la forma en que se unían las paredes a los forjados. En el caso de los edificios de Cataluña, según los períodos constructivos, se deduce que entre los edificios construidos antes de 1950 predominan los que tienen suficientes muros de

arriostramiento pero que no presentan ningún tipo de zuncho en la unión forjado-pared. Estos edificios son susceptibles de sufrir desvinculaciones en lugares inestables por causa de asentamientos y/o de tensiones térmicas, y es de esperar que frente a un sismo presenten un comportamiento frágil debido a su poca ductilidad. En cuanto a los edificios construidos entre 1950 y 1970, al menos un 50% de ellos carece de zunchos eficaces de hormigón armado y el otro 50% presenta falta de arriostramiento por carencia de muros transversales a los de carga. Esta situación que cada vez se hacía más sistemática promovió la publicación de la norma MV-201 de 1972, sobre Obra de Fábrica de Ladrillo (Ministerio de la Vivienda, 1973), la cual provocó que las construcciones que se realizaron a partir de 1973 tuviesen que cumplir las condiciones de encadenado prescritas por esta norma. Así se consideraron tres niveles de arriostramiento: en el primero, se observa una proporción de arriostramiento aceptable, los muros perpendiculares a los de la carga no se encuentran separados más de 7 metros; en el segundo, el nivel de arriostramiento es deficiente, ya que los muros perpendiculares a los de la carga se hallan separados y/o carecen de zunchos. Y el tercero, es el estado más deficiente de la edificación, en éste se advierte una falta total de arriostramiento. Relacionándolo con la edad de la construcción, a modo de ejemplo, tendríamos que los edificios construidos con anterioridad al año 1950 se encuentran en un nivel de arriostramiento 3.

El estado de conservación de los edificios es otro de los parámetros que también se tuvo en cuenta ya que influye en el comportamiento de las edificaciones frente la acción sísmica, cuanto peor es el estado de conservación peor será su comportamiento.

La clasificación propuesta (Tabla 3.1) muestra un claro aumento de la vulnerabilidad en función de la edad, altura y localización.

La evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones, se realiza a través de un análisis estadístico simplificado, y se completa con el uso de matrices de probabilidad de daños (MPD) para la estimación del daño potencial que tendrán las edificaciones una vez sean sometidas a la acción de un sismo de características previstas.

3.2.3 Las matrices de probabilidad de daños

Para cada tipo de estructura y cada intensidad sísmica la matrices de probabilidad de daño definen la probabilidad discreta de la distribución de daño, (Braga *et al.*, 1985; Liberatore, 1992).

Tabla 3.1. Clasificación de los edificios de vivienda en clases de vulnerabilidad usada en este estudio. La clasificación se basa en la escala macrosísmica EMS'98, Las clases de vulnerabilidad A, B y C corresponden a las definidas en la Figura 3.1 (Chávez, 1998).

	< 1950		1951-1970		> 1970	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
< 5 plantas	20% A + 80% B	30% A +70% B	5 % A + 50% B + 45% C	15 % A +70% B +15% C	85% C +15% D	5% A + 20% B + 65% C + 0% D
= 5 plantas	20% A + 80% B	40% A + 60% B	10% A + 60% B + 30% C	20% A + 70% B +10% C	5% A + 20% B + 65% C +10% D	10% A + 30% B + 55% C + 5% D
> 5 plantas	40% A + 60% B	60% A + 40% B	15 % A + 70% B + 15% C	30% A + 65% B + 5% C	8% A + 27% B + 60% C + 5% D	15% A + 45% B + 40% C

Las matrices de probabilidad de daño (Tabla 3.2) utilizadas en este estudio son las propuestas por Chávez *et al.* (1998). Éstas se obtuvieron a partir del análisis estadístico de los datos de daños observados después del terremoto de Irpinia ($M_w=6.9$), ocurrido el 23 de noviembre de 1980 en el sur de Italia. Se examinaron 32.548 edificaciones pertenecientes a los 41 municipios más afectados. Los datos de daños fueron recogidos por el *Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti* (GNDT) (Braga *et al.*, 1982, 1985). El análisis de los datos permitió obtener las matrices de probabilidad de daños correspondientes a las seis clases de vulnerabilidad A, B, C, D, E y F y los grados de intensidad sísmica VI, VII, VIII, IX y X definidos por la escala EMS'98, definiendo las probabilidades de ocurrencia de los 6 grados o estados de daño definidos en la misma escala.

Tabla 3.2. Matrices de probabilidad de daños para las Clases de vulnerabilidad A, B, C y D, Chávez (1998).

Daño Intensidad	Clase de vulnerabilidad A					
	0	1	2	3	4	5
V	0.441	0.392	0.140	0.025	0.002	0.000
VI	0.209	0.384	0.283	0.104	0.019	0.001
VII	0.08	0.263	0.346	0.227	0.074	0.01
VIII	0.01	0.075	0.227	0.236	0.262	0.08
IX	0	0.005	0.044	0.191	0.409	0.351
X	0	0	0.001	0.017	0.184	0.798

Tabla 3.2. Matrices de probabilidad de daños para las Clases de vulnerabilidad A, B, C y D, Chávez (1998), continuación.

Clase de vulnerabilidad B						
Daño	0	1	2	3	4	5
Intensidad						
V	0,670	0,279	0,047	0,004	0,000	0,000
VI	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0,000
VII	0,209	0,384	0,283	0,104	0,019	0,001
VIII	0,080	0,263	0,346	0,227	0,074	0,010
IX	0,010	0,075	0,227	0,346	0,262	0,080
X	0,000	0,005	0,044	0,191	0,409	0,351

Clase de vulnerabilidad C						
Daño	0	1	2	3	4	5
Intensidad						
V	0,755	0,218	0,025	0,001	0,000	0,000
VI	0,670	0,279	0,047	0,004	0,000	0,000
VII	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0,000
VIII	0,209	0,384	0,283	0,104	0,019	0,001
IX	0,080	0,263	0,346	0,227	0,074	0,010
X	0,010	0,075	0,227	0,346	0,262	0,080

Clase de vulnerabilidad D						
Daño	0	1	2	3	4	5
Intensidad						
V	0,859	0,133	0,008	0,000	0,000	0,000
VI	0,755	0,218	0,025	0,002	0,000	0,000
VII	0,670	0,279	0,047	0,004	0,000	0,000
VIII	0,441	0,392	0,140	0,025	0,002	0,000
IX	0,209	0,384	0,283	0,104	0,019	0,001
X	0,080	0,263	0,346	0,227	0,074	0,010

3.2.4 Estimación del daño esperado en un grupo de edificios

La evaluación del daño físico a los edificios como consecuencia de un sismo se realiza, de la misma forma que en la clasificación en clases de vulnerabilidad de forma estadística, utilizando las matrices de probabilidad de daños determinadas para todas las clases de vulnerabilidad de la EMS'98.

Como parámetro del movimiento del suelo se utilizan las intensidades macrosísmicas correspondientes a los escenarios pre-establecidos.

La probabilidad $P[D_k]$ de que en un determinado municipio se observe un nivel de daño D_k ($K = 0 - 5$) se determina a partir de la ecuación 3.1 (Bramerini *et al.*, 1995).

$$P[D_k] = \sum_I \sum_T P[D_k \mid I, T] \cdot P[I] \cdot P[T] \quad (3.1)$$

Dónde:

$P[I]$ es la probabilidad, determinada en los estudios de peligrosidad sísmica, de que en el municipio considerado se perciba una intensidad I .

$P[T]$ es la probabilidad de que la edificación pertenezca a la tipología T (identificada como las clases de vulnerabilidad A, B, C y D). Ésta es igual a la frecuencia de la tipología T sobre el total de las viviendas del municipio considerado.

$P[D_k \mid I, T]$ es la probabilidad condicionada de que se observe el nivel de daño k , dada la intensidad (I) y la tipología de la estructura (T). Ésta probabilidad se corresponde con las de las matrices de probabilidad de daños.

Si la estimación que se lleva a cabo se realiza de forma determinista, correspondiente a los datos del mapa de zonas sísmicas disponibles para cada municipio, la ecuación 3.1 queda reducida a la forma:

$$P[D_{k,I}] = \sum_T P[D_k \mid I, T] \cdot P[T] \quad (2)$$

Dónde, $P[D_{k,I}]$ expresa, para cada municipio, las probabilidades relativas de observar los distintos grados de daño cuando ocurre un sismo de intensidad I ; el primer término corresponde a la matriz de probabilidad de daños y el segundo representa la frecuencia relativa de cada clase de vulnerabilidad.

Como resultado de la evaluación del daño físico se obtiene el número de edificios de cada municipio distribuido según los grados de daños de 0 (no daño) a 5 (colapso total) de la escala EMS'98.

En la *Figura 3.2* se muestra la matriz de probabilidad de daños para la intensidad VII. En ella se representa la probabilidad condicionada de que se produzca el grado de daño de que se trate, para una clase de vulnerabilidad determinada y para el grado de intensidad VII. *Es decir, se representa el término $P[D_k \mid I, T]$ de la ecuación 2 para $k=0, 1, 2, 3, 4$ y 5 y para las tipologías A, B, C y D.* Se observa que las clases de vulnerabilidad A y B tienen más probabilidad de sufrir grados de daño 3, 4 y 5; y que las clases de vulnerabilidad C y D tienen probabilidad de sufrir más grados de daño 0 y 1.

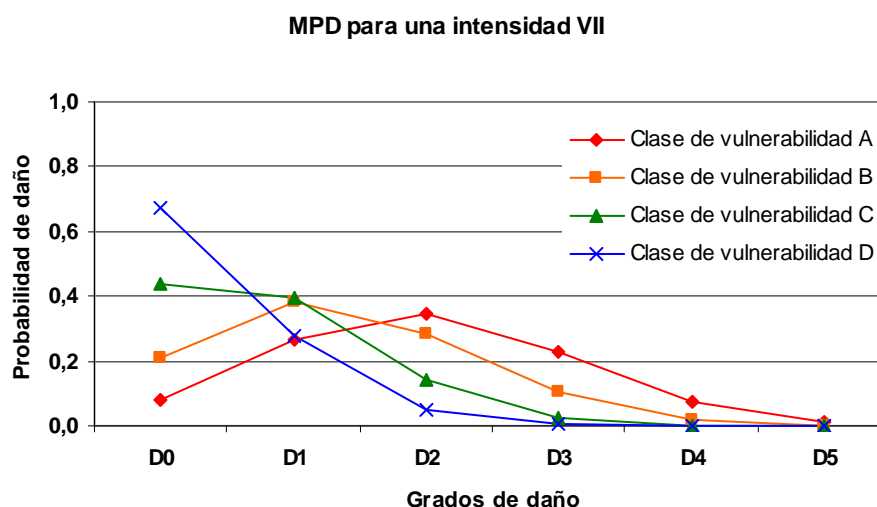


Figura 3.2. Matriz de probabilidad de daño para la intensidad VII.

3.3 Metodología basada en índices de vulnerabilidad

La metodología basada en índices de vulnerabilidad utilizada en este trabajo fue la desarrollada por Corsanego y Petrini (1994) y utilizada por Benardini, 1997; Dolce (1997), Benardini (2000), Lagomarsino *et al.* (2003) y Giovinazzi (2005); y utilizada en el proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) para la simulación y análisis de escenarios sísmicos.

3.3.1 Características generales del método

La metodología basada en índices de vulnerabilidad es también una metodología de evaluación de la vulnerabilidad y del daño sísmico a nivel regional o urbano y, al igual que la metodología anterior, se basa en la escala EMS'98.

La vulnerabilidad de un edificio está definida por el índice de vulnerabilidad. Estos valores sólo representan una puntuación que cuantifica el comportamiento sísmico del edificio. Los rangos están entre 0 y 1, siendo los valores cercanos a 1 los que representan los edificios más vulnerables y los cercanos a 0 los que representan los menos vulnerables. El valor puede ser superior a 1 dependiendo de los modificadores que se apliquen.

Es un método versátil, robusto y fácil de aplicar y su principal ventaja es que permite ajustar la vulnerabilidad de los edificios con un gran nivel de detalle. El índice de vulnerabilidad, además de las cualidades estructurales del edificio, permite incorporar y evaluar información sobre su geometría y otras características mediante la introducción de modificadores.

Para evaluar el daño esperado, el método utiliza funciones de vulnerabilidad semi-empíricas (MVF) y matrices de probabilidad de daños (DPM). Para diferentes índices de vulnerabilidad, las MVF correlacionan el grado de daño medio con la intensidad. Las DPM cuantifican la probabilidad de ocurrencia de cada grado de daño; para ello se supone, de acuerdo con la escala EMS'98, que el daño se distribuye de forma binomial. También suele usarse una distribución Beta equivalente.

El método se usa para calcular los índices de vulnerabilidad de los edificios considerados en la matriz de tipologías de edificios (BTM), así como las matrices de probabilidad de daños. El método puede también considerar la cantidad y calidad de los datos disponibles para la realización del análisis de la vulnerabilidad.

3.3.2 La matriz de tipologías de edificios (BTM)

Para definir la matriz de tipologías de edificios se utiliza la clasificación de edificios *Building Typology Matrix* (BTM) (Tabla 3.3 y Anexo 4) propuesta en el proyecto Risk-ue (*Milutinovic y Trendafiloski, 2003*). Esta matriz se definió a partir del inventario de los edificios de las ciudades que participaron en el proyecto: Barcelona (España), Bucarest (Rumania), Catania (Italia), Sofía (Bulgaria), Bitola (Yugoslavia), Thessaloniki (Grecia) y Niza (Francia).

El objetivo de esta matriz era agrupar en una serie de clases los edificios con una tipología estructural y un comportamiento similar, para desarrollar modelos de estimación de daño y pérdidas para cada tipología. Esta clasificación se realizó en base a una serie de parámetros que influyen en el grado de daño y de pérdidas: parámetros estructurales, nivel de diseño sísmico y altura de los edificios entre otros. La BTM propuesta por Risk-ue contiene 23 clases de edificios (10 de mampostería, 7 de hormigón armado, 5 de estructura metálica y 1 de estructura de madera) agrupados por su tipología estructural y material de construcción. Al mismo tiempo éstas clases se diferencian en subclases, en función de los otros parámetros que intervienen en su comportamiento: altura (baja, media y alta) y nivel de diseño sismorresistente (sin código o norma sísmica, bajo nivel de código, moderado y alto).

Tabla 3.3. Edificios considerados en la Matriz de tipologías de edificios (BTM) propuesta por Risk-ue (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

Tipología	Descripción
M. Estructuras de mampostería	
M 1	Muros de carga con mampostería
M 1.1	Muros de carga con mampostería de piedras y piedra machacada
M 1.2	Muros de carga con mampostería de piedra tallada
M 1.3	Muros de carga de mampostería de sillería
M 2	Adobe
M3	Muros de carga de mampostería no reforzada
M 3.1	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de madera
M 3.2	Muros de carga de mampostería no reforzada con bóvedas de mampostería
M 3.3	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados mixtos de acero y mampostería
M 3.4	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losas de hormigón armado
M 4	Muros de carga de mampostería reforzados o confinados
M 5	Edificios de mampostería totalmente reforzada
RC. Estructuras de hormigón	
RC 1	Estructuras de hormigón resistentes al momento
RC 2	Muros de cortante de hormigón
RC 3.1	Estructuras de hormigón con muros de relleno regulares de mampostería no reforzada
RC 3.2	Estructuras de hormigón irregulares con muros de mampostería no reforzada
RC 4	Sistemas duales, muros y pórticos de hormigón armado
RC 5	Muros de hormigón prefabricado
RC 6	Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de hormigón
S. Estructuras metálicas	
S 1	Estructuras metálicas resistentes al momento
S 2	Estructuras metálicas arriostradas
S 3	Estructuras metálicas con muros de relleno de mampostería no reforzada
S 4	Estructuras metálicas con muros de cortante de hormigón colocados in situ
S 5	Sistemas o estructuras mixtas, de acero y hormigón armado (rc)
W. Estructuras de madera	

3.3.3 Desarrollo de los índices de vulnerabilidad

Los índices de vulnerabilidad se desarrollan a partir de las clases de vulnerabilidad de la escala EMS'98 (Lagomarsino *et al.*, 2002). Las funciones de pertenencia χ a cada una de las clases de vulnerabilidad (Figura 3.3 y Tabla 3.4) se definen de manera difusa, con funciones de pertenencia definidas mediante unos rangos plausibles ($\chi=1$) y unos rangos posibles que definen la transición entre dos clases de vulnerabilidad adyacentes. Así, para cada edificio, además de diferentes valores probables V_i^* ($\chi=1$), el método contempla rangos de índices posibles ($\chi \geq 0.6$) y de índices menos probables ($0.6 > \chi \geq 0.2$).

De esta forma, para cada tipo de edificio se dispone de los siguientes índices: V_I^* es el valor más probable del índice de vulnerabilidad; $[V_I^-, V_I^+]$ define el intervalo plausible del índice de vulnerabilidad (suelen ser los valores en los que la función de pertenencia vale 0.5); $[V_I^{\min}, V_I^{\max}]$ son los límites inferior y superior de los índices de vulnerabilidad que se consideran posibles.

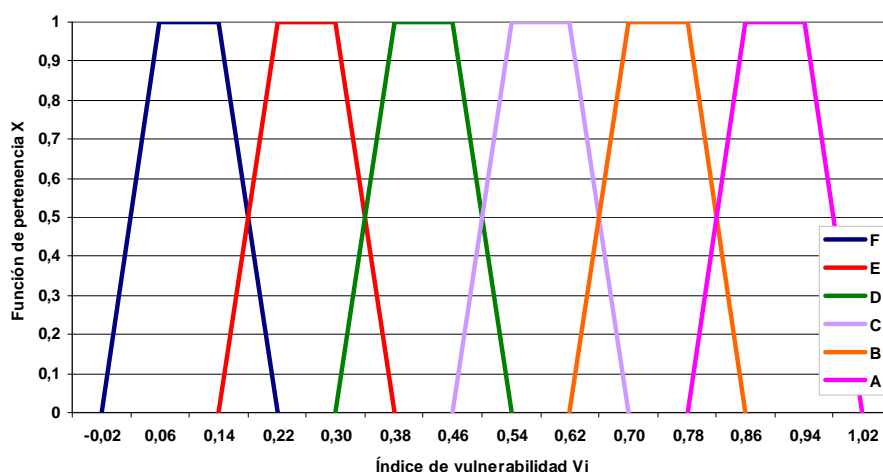


Figura 3.3. Funciones de pertenencia de un edificio a las clases de vulnerabilidad (ver Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Límites de las funciones de pertenencia a cada clase de vulnerabilidad.

Se indican los intervalos plausibles y posibles.

Clases de Vulnerabilidad	Límites del índice de vulnerabilidad (V_i)			
	V_{I-}	V_{I-}	V_{I+}	V_{I++}
A	0.78	0.86	0.94	1.02
B	0.62	0.70	0.78	0.86
C	0.46	0.54	0.62	0.70
D	0.30	0.38	0.46	0.54
E	0.14	0.22	0.30	0.38
F	-0.02	0.06	0.14	0.22

La Tabla 3.5 muestra la matriz de tipos de edificios considerada en el proyecto Risk-ue y los valores de los índices de vulnerabilidad y sus intervalos.

3.3.4 Aplicación del método

Para aplicar el método, cuando se puede identificar directamente la tipología de un edificio dentro de la BTM, los valores del índice de vulnerabilidad (V_I^* , V_I^- , V_I^+ , V_I^{\min} , V_I^{\max}) se asignan de acuerdo con los propuestos en la Tabla 3.5. En el caso de que no se disponga de suficiente información para identificar directamente la tipología de un edificio dentro de esta tabla, se pueden definir categorías más generales, siempre que dentro de éstas se conozca la distribución de cada

tipología, basándose en la experiencia y el conocimiento del sistema constructivo de la zona estudiada. En este caso, para cada categoría C_i , los valores del índice de vulnerabilidad se evalúan según la expresión (3), conociendo el porcentaje p_t de edificios de cada tipología t de la BTM que se consideran incluidos en la categoría analizada.

$$V_{I-C_i}^* = \sum_t p_t V_{I-t}^* \quad (3.3)$$

Lagomarsino *et al.* (2002) y Giovinazzi (2005) proporcionan directrices para la modificación de los índices de vulnerabilidad mediante la suma de puntuaciones parciales, basadas en las propuestas por la ATC-21 y el *Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti* (GNDT), referidas tanto a la calidad y cantidad de información disponible, como a las características específicas de los edificios analizados. El modificador por comportamiento (ΔV_m) se expresa como la suma de los modificadores parciales que pueden ser diferentes para cada tipología, estos modificadores permiten incorporar aspectos como la condición de edificios aislados, o situado en un agregado de edificios.

En las Tablas 3.6 y 3.7 se muestran los valores de los modificadores de comportamiento del índice de vulnerabilidad (V_i) para edificios de mampostería y hormigón armado respectivamente. La puntuación total que modifica el índice de vulnerabilidad característico V_i^* puede evaluarse, para cada edificio particular, sumando todas las puntuaciones de los modificadores; es decir:

$$\Delta V_m = \sum V_m \quad (3.4)$$

El modificador regional de la vulnerabilidad (ΔV_R) permite adaptar los índices de clase a las características propias de la zona de estudio y puede ser fijado por la opinión de expertos.

Finalmente el índice de vulnerabilidad total se calcula sumando al índice básico de vulnerabilidad el modificador regional y una serie de modificadores de comportamiento, de la siguiente forma:

$$\bar{V}_I = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m \quad (3.5)$$

Tabla 3.5. Índices de vulnerabilidad propuestos para los edificios de la Matriz de tipologías BTM de Risk-UE. (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

Tipología	Descripción	Límites del índice de vulnerabilidad (V_i)				
		V_i^{\min}	V_i^-	V_i^+	V_i^+	V_i^{\max}
M 1.1	Muros de carga con mampostería de piedras y piedra machacada	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
M 1.2	Muros de carga con mampostería de piedra tallada	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M 2	Adobe	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M 3.1	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de madera	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
M 3.2	Muros de carga de mampostería no reforzada con bóvedas de mampostería	0.46	0.65	0.776	0.953	1.02
M 3.3	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados mixtos de acero y mampostería	0.46	0.527	0.704	0.83	1.02
M 3.4	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losas de hormigón armado	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
M 4	Muros de carga de mampostería reforzados o confinados	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
M 5	Edificios de mampostería totalmente reforzada	0.3	0.49	0.694	0.953	1.02
RC 1	Estructuras de hormigón resistentes al momento	-0.02	0.047	0.442	0.8	1.02
RC 2	Muros de cortante de hormigón	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC 3.1	Estructuras de hormigón con muros de relleno regulares de mampostería no reforzada	-0.02	0.007	0.402	0.76	0.98
RC 3.2	Estructuras de hormigón irregulares con muros de mampostería no reforzada	0.06	0.127	0.522	0.88	1.02
RC 4	Sistemas duales, muros y pórticos de hormigón armado	-0.02	0.047	0.386	0.67	0.86
RC 5	Muros de hormigón prefabricado	0.14	0.207	0.384	0.51	0.7
RC 6	Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de hormigón	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
S 1	Estructuras metálicas resistentes al momento	-0.02	0.467	0.363	0.64	0.86
S 2	Estructuras metálicas arriostradas	-0.02	0.467	0.287	0.48	0.7
S 3	Estructuras metálicas con muros de relleno de mampostería no reforzada	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
S 4	Estructuras metálicas con muros de cortante de hormigón colocados in situ	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
S 5	Sistemas o estructuras mixtas, de acero y hormigón armado (rc)	-0.02	0.257	0.402	0.72	1.02
W	Estructuras de madera	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

Tabla 3.6. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad por comportamiento para los edificios de mampostería. (Milutinovic y Trendafiloski, 2003).

Modificadores de comportamiento	Parámetros	Puntuaciones
Estado de conservación	Buen mantenimiento	-0.04
	Mal mantenimiento	+0.04
Altura o número de pisos	Bajo (Low) (1 ó 2)	-0.02
	Mediano (Médium)(3,4, ó 5)	+0.02
	Alto (High) (6 o más)	+0.06
Sistema estructural	Espesor de los muros	-0.04 , +0.04
	Distancia entre paredes	
	Conexión entre las paredes (Barras de unión (tie-rods, soportes en las esquinas (angles bracket)	
	Conexión horizontal estructura-muros	
Piso blando	Demolición / Transparencia, diáfana	+0.04
Irregularidad en planta	...	+0.04
Irregularidad en altura	...	+0.02
Pisos superpuestos		+0.04
Tejado	Peso del tejado y acometida del tejado	+0.04
	Conexiones con el tejado	
Intervenciones de reparación		-0.08 , +0.08
Dispositivos antisísmicos	(Barbican), láminas de refuerzo (Foil arches), Contrafuertes (Buttresses)	
Edificios en conjuntos posición	Medio	-0.04
	Esquina	+0.04
	Frontal (Header)	+0.06
Edificios en conjuntos elevación	Pisos escalonados	+0.02
	Edificios de altura diferente	-0.04 , +0.04
Fundamentos	Fundamentos a diferentes niveles	+0.04
Morfología del suelo	Pendiente	+0.02
	Acantilado	+0.04

3.3.5 Estimación del daño físico a los edificios

El método del índice de vulnerabilidad para calcular el daño a los edificios utiliza las funciones de vulnerabilidad que relacionan el grado de daño medio con la intensidad macrosísmica (I) y con el índice de vulnerabilidad (V_i) mediante la ecuación propuesta por Giovinazzi (2005).

Este método mantiene la hipótesis de la distribución binomial para la distribución de los estados de daño, pero prefiere utilizar la distribución Beta para su representación, ya que esta última es continua y al depender de dos parámetros se considera más versátil. La distribución Beta se utiliza para calcular la matriz de probabilidad de daños (DPM) continua para cada clase de vulnerabilidad.

Tabla 3.7. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad por comportamiento para los edificios de hormigón Armado. En este caso también se considera el nivel de diseño sismorresistente del edificio (Milutinovic y Trendafiloski, 2003)

Modificadores de comportamiento		Nivel de diseño sismorresistente		
		Pre o código de bajo nivel	Código de nivel medio	Código de alto nivel
Nivel de código		+ 0.16	0	- 0.16
Mal mantenimiento		+ 0.04	+ 0.02	0
Número de pisos	Bajo	- 0.04	- 0.04	- 0.04
	Medio	0	0	+ 0.04
	Alto	+ 0.08	+ 0.06	0
Irregularidad en planta	Forma	+ 0.04	+ 0.02	0
	Torsión	+ 0.02	+ 0.01	0
Irregularidad vertical		+ 0.04	+ 0.02	0
Columna corta		+ 0.02	+ 0.01	0
Ventanas en arco (Bow Windows)		+ 0.04	+ 0.02	0
Edificios en conjuntos (con juntas asísmicas insuficientes)		+ 0.04	0	0
Cimientos	Vigas	- 0.04	0	0
	Vigas conectadas	0	0	0
	Apoyo aislado	+ 0.04	0	0
Morfología del suelo	Pendiente	+ 0.02	+ 0.02	+ 0.02
	Acantilado	+ 0.04	+ 0.04	+ 0.04

La ecuación siguiente describe la función de densidad de probabilidad $p_\beta(x)$ de esta distribución, en el intervalo (a, b).

$$p_\beta(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(q)\Gamma(t-q)} \frac{(x-a)^{q-1}(b-x)^{t-q-1}}{(b-a)^{t-1}} \quad a \leq x < b \quad (3.6)$$

Donde x es una variable continua, que varía entre los límites del intervalo a y b ; t y q son los parámetros de la distribución, y Γ es la función gamma. La probabilidad de que se iguale o exceda un nivel de daño x , $P_\beta(x)$ viene definida por la integral, entre a y x de la función; es decir:

$$P_\beta(x) = \int_a^x p_\beta(\varepsilon) d\varepsilon \quad (3.7)$$

Los parámetros de la distribución Beta están correlacionados con el grado de daño medio μ_D de la siguiente forma:

$$q = t(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D) \quad (3.8)$$

El parámetro t está relacionado con la dispersión de la distribución, y si se toma $t=8$, esta distribución Beta equivale a una distribución binomial. Para usar la distribución *Beta*, es necesario hacer referencia al grado de daño D , el cual es una variable discreta, caracterizada por 5 grados de daño más el grado de daño 0 (ausencia de daño). Se asigna el valor 0 para el parámetro a y el valor 6 para el parámetro b (Lagomarsino *et al.*, 2002).

El método define funciones de vulnerabilidad semi-empíricas, que correlacionan el grado de daño medio μ_D con la intensidad macrosísmica I y con el índice de vulnerabilidad V_I . En base a las descripciones de la escala EMS'98, este método determina las matrices de probabilidad de daño correspondientes a las clases de vulnerabilidad establecidas en la escala y ajusta la siguiente ecuación:

$$\mu_D = 2.5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6.25V_I - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (3.9)$$

En la Figura 3.4 se muestra un ejemplo de las curvas de grado de daño medio calculadas para las principales tipologías de la zona de estudio.

De esta forma, para cualquier escenario sísmico definido en términos de intensidad macrosísmica, el método permite estimar el grado de daño medio esperado en cualquier edificio o conjunto de edificios, definidos mediante su índice de vulnerabilidad. La distribución Beta o Binomial equivalente permite hallar las probabilidades de que se dé cualquier estado de daño.

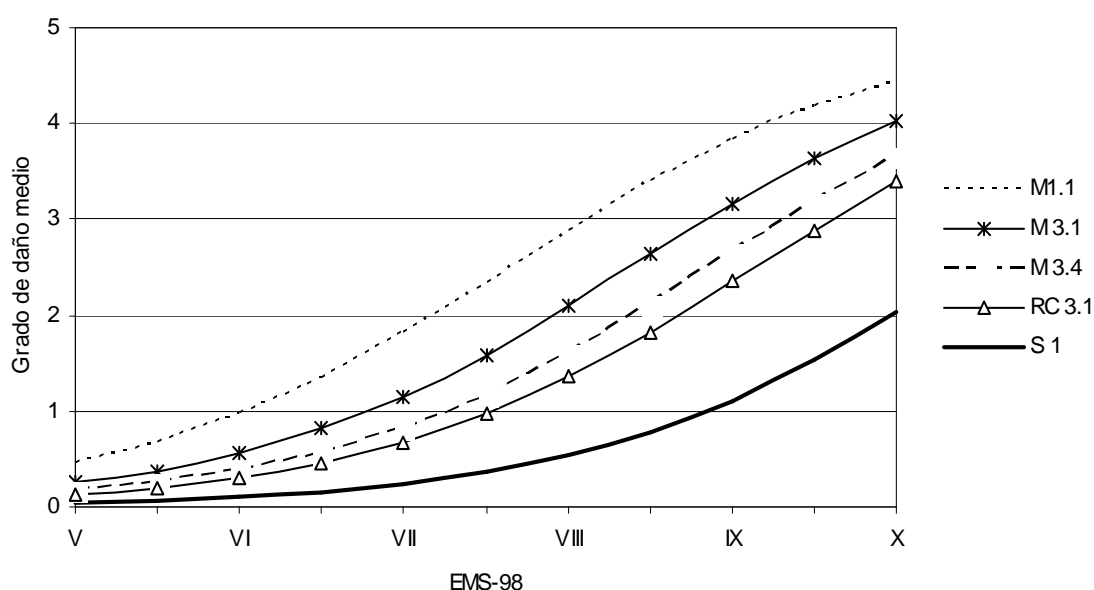


Figura 3.4. Curvas de grado de daño medio para las principales tipologías de la zona.

3.4 Resumen

En este capítulo se ha descrito la metodología de evaluación del daño sísmico esperado. Entre los diversos métodos existentes se han elegido dos que se adecuan bien a los objetivos del trabajo y a las características de la región de estudio. Ambos métodos coinciden en definir el movimiento del suelo mediante la intensidad macrosísmica de la escala EMS'98, lo que es adecuado en zonas donde la sismicidad es baja, y ambos coinciden en una forma sencilla de determinar el grado de daño medio esperado y las matrices de probabilidad de daño, pero difieren en la forma de caracterizar la resistencia sísmica de los edificios. El primero (Chávez, 1998; Roca *et al.*, 2006) define el edificio, o conjunto de edificios, mediante clases de vulnerabilidad; el segundo (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Giovinazzi, 2005) permite definir el edificio, o conjunto de edificios, mediante un índice de vulnerabilidad. En el primer método la asignación de un edificio o conjunto de edificios a una clase de vulnerabilidad es sencilla, directa y no requiere información detallada del edificio a evaluar, pero la resolución de los escenarios es menor, dado que los resultados se restringen a las 5 clases de vulnerabilidad previstas en la escala EMS'98. El segundo permite clasificar cualquier edificio, o grupo de edificios, mediante un número, un índice, que toma valores en un rango entre cero, para edificios muy resistentes, y la unidad, para edificios de muy mala calidad; de esta forma la calificación de edificios es más sofisticada y requiere un mayor conocimiento, frecuentemente experto, de las características constructivas de los edificios y, además, permite incorporar información referente, entre otros aspectos, a la antigüedad de la construcción, al número de plantas y a la geometría en planta y en altura. Por consiguiente el método del índice de vulnerabilidad es más preciso y permite una mayor resolución de los resultados, pero también es más costoso. En este trabajo se usan ambos métodos pues los dos permiten un tratamiento individualizado o estadístico de la información disponible. El primero ha sido de gran ayuda para una toma de datos orientada a la realización de un inventario estadístico de los edificios y ha permitido obtener una buena aproximación al riesgo sísmico del Principado. El método del índice de vulnerabilidad ha posibilitado el aumento de la resolución del estudio. El próximo capítulo se dedica a la descripción de los datos, es decir al inventario y clasificación del parque de edificios de Andorra.

4 Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico

4.1 Introducción

Como se ha visto en el capítulo metodológico la evaluación del riesgo sísmico requiere gran cantidad de información referente a la edificación, población, líneas vitales, mapas de peligrosidad, datos geológicos y geotécnicos, entre otros, y, al mismo tiempo, necesita una plataforma que pueda gestionar todos estos datos de manera ágil, un SIG, por ejemplo. Este capítulo está dedicado a la descripción de la creación de la base de datos de edificación, necesaria para llevar a cabo el análisis de la vulnerabilidad sísmica en el Principado de Andorra, y su integración en un SIG. Generalmente toda esta información está disponible en los catastros y en los Institutos de estadística de cada país. No es así en el caso de Andorra donde existe una notable deficiencia de bases de datos habiendo sido necesario recopilar y tratar una gran cantidad de información. Así pues, en el caso de Andorra la información se ha extraído de otras fuentes. En este capítulo se explican las particularidades de la base de datos realizada.

Todos los países tienen un organismo oficial encargado de crear y gestionar bases de datos para la realización de diferentes análisis sobre el país, como por ejemplo, estadísticas sobre el medio ambiente, censos de población y viviendas, inmigración, consumo energético. La Ley del 31 de diciembre de 1945 crea el Instituto Nacional de Estadística (INE), para el territorio español, cuyo objetivo es la elaboración y el perfeccionamiento de las estadísticas demográficas, económicas y sociales ya existentes, la creación de otras nuevas y la coordinación con los servicios estadísticos de las áreas provinciales y municipales. Los inicios de la estadística oficial en España se remontan al 3 de noviembre de 1856 con la creación de la Comisión de estadística del Reino. Así se puede decir que, en España, desde 1856 hay un organismo encargado de recoger y generar información sobre los diferentes datos económicos, demográficos y sociales del país. Para el territorio francés, existe el *Institut National de la Statistique et des Études Économiques* (INSEE), creado por la ley de finanzas del 27 de abril de 1946 (art.32 y 33). El objetivo del INSEE es crear, analizar y difundir información sobre la economía y la sociedad francesa. La estadística pública francesa se ha ejercido sin discontinuidad desde 1833. Además, todos los países cuentan con el catastro. Así por ejemplo en Francia el INSEE, y en Cataluña el *Institut d'Estadística de Catalunya* (Idescat), son los organismos encargados de recoger información sobre la edificación, como por ejemplo, datos sobre la edad del edificio, el número de pisos, el uso del edificio, el año de puesta en servicio y su localización entre otros. Todos estos datos son muy útiles a las administraciones, a las empresas,

a los investigadores, a los medios de comunicación, a los profesores y a las personas en general, ya que son cada vez más imprescindibles para la gestión administrativa y permiten efectuar diversos estudios, realizar previsiones y tomar decisiones. En Andorra, existe el *Servei d'Estudis*, adscrito al Ministerio de Finanzas del Gobierno de Andorra. Su misión es coordinar, producir, analizar y difundir los datos estadísticos relacionados con la economía y la sociedad andorrana. También, es el encargado de asegurar la coherencia de los trabajos del sistema estadístico público mediante la elaboración de nomenclaturas y de normas estadísticas para que se impongan en todo el sistema estadístico. Respecto al catastro, en Andorra no existe ningún organismo que haga esta función. Los datos referentes al catastro a veces son inexistentes o, los que hay están dispersos en los diferentes *comuns*. Por lo tanto, la recopilación de la información necesaria para la realización del análisis de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de vivienda del Principado ha sido una tarea ardua, larga y compleja.

En la creación de la base de datos del parque de edificios de Andorra, el primer paso que se ha realizado ha sido inventariar las cartografías oficiales existentes, destacando los ortofotomapas y las fotografías aéreas, y crear, a través de un SIG, las cartografías de base para introducir los datos de edificación y así, poder gestionar de forma conjunta la información referente a la peligrosidad sísmica, al parque de edificios, a la población, así como otros aspectos relacionados con la cuantificación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico del principado. El segundo paso, ha sido la recopilación de los datos existentes sobre la edificación, entre los que destacan por su relación con el estudio, la altura, la edad, la tipología estructural y el uso del edificio. Toda esta información, se ha obtenido de diversas fuentes. Cuando existía, se ha extraído de los *comuns*, y sino a través de campañas de campo, por comparación de fotografías aéreas y a partir de otros estudios existentes. Antes de recoger los datos se ha realizado un análisis de las metodologías existentes ampliamente descritas en el Capítulo 3, y se han escogido las que se iban a utilizar. El objetivo fue predefinir parámetros necesarios para la creación de una base de datos de edificación que permitiera la aplicación de las metodologías escogidas. El tercer paso ha sido la validación de los datos con la información procedente de los Planes de Ordenación y Urbanismo Parroquial (POUP), sólo en los casos en que los POUP se terminaron con posterioridad a la recogida de datos y con visitas de campo. Así pues, las bases de datos de edificación que se han creado para este estudio tienen la característica, respecto a las de los países que cuentan con catastro, que únicamente contienen los parámetros necesarios para la aplicación de los métodos de evaluación escogidos, es decir, son bases de datos realizadas a medida. Un cambio de la metodología a aplicar provocaría probablemente tener que modificar la base de datos para incluir nuevos parámetros.

4.2 Antecedentes y metadatos

A falta de datos catastrales se ha realizado una revisión exhaustiva de las publicaciones directa o indirectamente relacionadas con la edificación. El objetivo era extraer la máxima información para la construcción de la base de datos de edificación. A finales de los años 70 y principios de los 80, en Andorra, se realizaron dos trabajos importantes relacionados con la edificación: Batlle (1978) y Batlle (1980). Estos dos estudios están dedicados íntegramente a la evolución de los edificios de viviendas del principado. En ellos se describen las características (estructura y distribución) de las viviendas tradicionales, generalmente casas unifamiliares y la evolución hacia edificios de viviendas plurifamiliares, más modernos. Batlle (1978) hace un análisis de la evolución de la construcción hasta 1978 en base a la legislación existente en el momento, en él describe la transformación que sufren los núcleos de población. Al mismo tiempo, presenta mapas, a escala 1:10.000, de cómo eran las poblaciones a principios de siglo XX y en el año 1978 (Figura 4.1). Mas (1989) también describe de forma detallada la vivienda tradicional andorrana.

Otro trabajo importante en el ámbito de este estudio se llevó a cabo en 1990 cuando se realizó una estadística de la población de Andorra. El objetivo del estudio era obtener una fotografía de la población de Andorra en un instante de su historia (Calvo *et al.*, 1989). El documento muestra el censo de población que había en ese momento. Lo más importante del estudio de Calvo *et al.* (1989) son los datos que se recogieron. Se hizo una encuesta edificio por edificio, en la que se recogieron a parte del número de personas que vivían en cada piso, su nacionalidad, y otros parámetros. Para cada edificio se recogió también la edad del edificio, número de plantas y el número de pisos por planta. Durante la realización de la presente investigación se ha buscado la base de datos resultante, para ver si se podía extraer toda la información que contenía y así utilizarla como punto de partida para la creación de las bases de datos del parque de edificios de vivienda y, ha sido imposible ya que el sistema digital en el que estaba grabado es incompatible con los sistemas actuales. Sólo se cuenta con el documento en papel, en la que se muestran los resultados finales, no pudiéndose extraer información útil de los edificios para la construcción de la base de datos.

Un hecho importante a tener en cuenta es la aprobación de la nueva Ley general de Ordenación del Territorio y Urbanismo a finales de 2000. Con la aprobación de la Ley de Urbanismo, hecha pública en el *Butlletí Oficial del Principat d'Andorra* (BOPA) Núm. 10 - Año 13 con fecha del 24.01.2001, se produce un cambio de situación en lo que respecta a los datos sobre edificación de cada parroquia. La nueva Ley otorga la competencia a los *comuns*, y son estos los que deben calificar el suelo parroquial y redactar los planes de acuerdo con su propia especificidad, criterios

de crecimiento y política urbanística comunal. Así, los *comuns* se han visto obligados a crear información catastral de su parroquia. Pero, como se describirá con más detalle en el apartado 2.2, la información catastral de las parroquias no se realizó de forma homogénea en todas las parroquias, en la mayoría de los casos no contenía la información necesaria para la realización del estudio de vulnerabilidad. Este hecho, junto con el de que los POUP se estaban realizando, en algunas de las parroquias, de forma paralela a la creación de nuestra base de datos de edificación, ha hecho que la información, en el caso de existir, se haya tenido que homogeneizar y completar para todas las parroquias. Los POUP que no se tuvieron en cuenta en la creación de la base de datos, al no estar disponibles, se han utilizado con posterioridad para validar la base de datos creada.

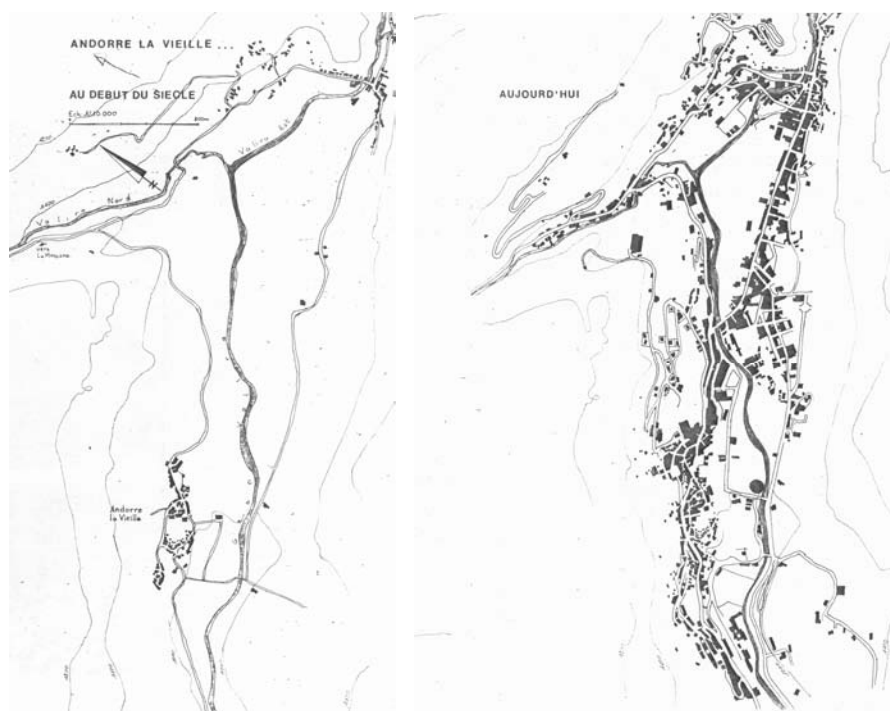


Figura 4.1. Ejemplo del Mapa de crecimiento urbano para la parroquia de Andorra la Vella. A la izquierda se muestra su estado a principios del siglo XX y a la derecha en 1978. Extraído de Batlle (1978).

4.2.1 Bases cartográficas

Para confeccionar las diferentes bases de datos se ha realizado un inventario de las cartografías y de los datos que existían en el país así como de los formatos en qué estaban disponibles.

Los datos cartográficos, entre los que destacan el límite estatal, la topografía y la toponimia, las ortofotografías y otras fotografías aéreas, y otros elementos de interés para la confección final de la base de datos de la edificación se han obtenido de las cartografías oficiales del *Àrea de*

Cartografía i Topografía del M.I. Govern d'Andorra de diferentes años. En la Tabla 4.1 se muestra el inventario de los datos disponibles, en el formato en qué se encuentran y los años en los que se han realizado. A continuación se hace una breve descripción de las bases cartográficas más importantes utilizadas.

Mapa Topográfico de Andorra. Muestra la realidad física de Andorra. Está formado por diferentes capas: curvas de nivel (25 m), límites administrativos, hidrografía, edificios, vías de comunicación y toponimia. La base de referencia con la que se ha elaborado el mapa son las ortofotografías a color, del vuelo realizado en 1995, con escala 1:5.000 (0.5 m de resolución) del *Àrea de Cartografia i Topografia del M. I. Govern d'Andorra* (Figura 4.2). Como sistema de referencia tiene proyección Cónica Conforme de Lambert para la zona III de Francia y Andorra con Datum NTF.

Límite estatal de Andorra. Es el límite que marca la frontera con los países vecinos.

Límites de parroquias. No existen los límites oficiales debido a que muchos de ellos están sin definir, como por ejemplo, los límites entre la unión de las parroquias de Sant Julià-Andorra la Vella y Escaldes-Engordany. Así, los límites que se presentan son una aproximación para poder hacer una representación en el SIG. En estos límites se ha eliminado el "*Terreny de Concordia*", área entre la parroquia de Encamp y *Canillo*. Esta zona actualmente pertenece a la parroquia de *Encamp*, según la sentencia del Tribunal Constitucional del 18 de mayo de 2001, publicada en el Butlletí Oficial del Principat d'Andorra con fecha del 23.05.2001.

Cartografía de las vías de comunicación y situación de los **edificios.** Muestra la situación de las vías que transcurren en territorio andorrano, incluyendo los caminos y senderos de montaña. Este mapa ha sido elaborado a partir de las ortofotografías de Andorra del vuelo de 1995.

Fotografías aéreas. Se dispone de una gran colección de fotografías aéreas, concretamente se dispone de los correspondientes a los vuelos de los años: 1948,1953, 1962, 1969, 1971,1972, 1980, 1981, 1982, 1987 y 2000; algunas cubren todo el territorio y otras sólo los fondos de los valles, es decir de las zonas urbanizadas.

Tabla 4.1. Inventario de las cartografías existentes y en que formato están disponibles.

Tipo	Formato	Comentarios
Fotografías aéreas	Fotos papel	Años utilizados: 1948,1972, Se dispone de los siguientes vuelos: 1948,1953, 1962, 1969, 1971,19 72, 1980, 1981, 1982, 1987, 2000. Origen: <i>Àrea de Cartografia i Topografia del M. I. Govern d'Andorra.</i> Cobertura del territorio: algunos vuelos son sólo de los fondos de Valle (zonas urbanizadas) y otras todo el territorio
Ortofotomapas (1:5.000)	Tiff	Años: 1995, 2003 Origen: <i>Àrea de Cartografia i Topografia del M. I. Govern d'Andorra</i> (Figura 6.3) Cobertura del territorio: todo el territorio
Base Cartográfica Digital (1:5.000)	DWG (3-D)	Año: 1995 Origen: <i>Àrea de Cartografia i Topografia del M. I. Govern d'Andorra</i> (Figura 6.3). Cobertura del territorio: todo el territorio
Límite del país	Convertidas a shapefile	Origen: <i>Àrea de Cartografia i Topografia del M. I. Govern d'Andorra.</i> Cobertura del territorio: todo el territorio
Límites de parroquias	Convertidas a shapefile	No oficial
Polígonos de los edificios	Convertidas a shapefile	Extraídos de la base cartográfica digital (1:5.000) Origen: <i>Àrea de Cartografia i Topografia del M. I. Govern d'Andorra</i> (Figura 6.3). Cobertura del territorio: todo el territorio
Vías de comunicación	Convertidas a shapefile	Extraídos de la base cartográfica digital (1:5.000) Origen: <i>Àrea de Cartografia i Topografia del M. I. Govern d'Andorra</i> (Figura 6.3) Cobertura del territorio: todo el territorio
Mapa Geológico (1:50.000)	Miramón (*.mmz)	Origen: CRECIT (2002) Cobertura del territorio: todo el territorio
Mapa Geomorfológico (1:50.000)	Miramón (*.mmz)	Origen: CRECIT (2005) Cobertura del territorio: todo el territorio

Capítulo 4. Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico

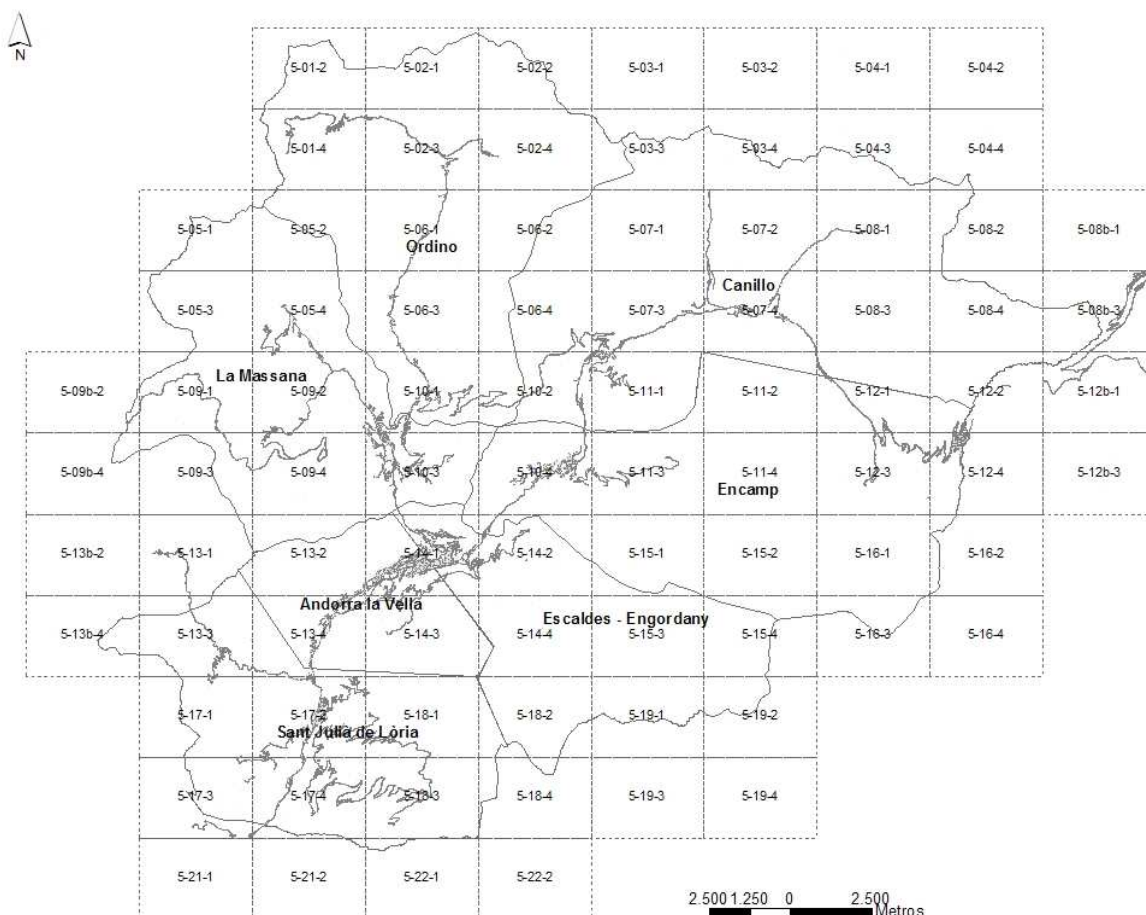


Figura 4.2. Hojas 1:5.000 de la base cartográfica digital de Andorra. En ella están señalados los límites de parroquia (no oficiales), los números que corresponden a cada hoja (base cartográfica digital y ortofotomapas).

También se cuenta para todo el territorio con los **ortofotomapas** pertenecientes a dos vuelos distintos, los de 1995 y 2003. Estos datos también pertenecen al *Àrea de Cartografia i Topografia del M.I. Govern d'Andorra*. En la Tabla 4.2 se muestran las características técnicas de cada juego de ortofotomapas. Estos dos juegos son muy importantes para poder ver la evolución de la edificación en los últimos años (periodo 1995-2003) y completar la base de edificación.

Tabla 4.2. Cartografía oficial de Andorra. Govern d'Andorra. Ministeri d'Ordenament Territorial. Àrea de Cartografia i Topografia. Año 1995 y 2003.

Características	Ortofotomapa 1995	Ortofotomapa 2003
Fecha de vuelo	Agosto - Octubre 1995	Julio 2003
Escala	1:16.000	1:20.000
Recubrimiento longitudinal de los fotogramas	Mínimo: 60% / máximo: 80%	80%
Recubrimiento transversal de los fotogramas	Mínimo: 30%	50%
Focal del objetivo	153, 09 mm	153,09 m
Formato de los fotogramas	23 cm * 23 cm	23 cm * 23 cm
Emulsión de los negativos	AGFA Avicolor N200	Kodak S.O.- 734
Restitución de los datos (original)	Ficheros en formato TIFF (110 mb por fichero)	Ficheros en formato TIFF (110 mb por fichero)
Unidades de representación	Formato de la hoja 1:5.000 (70cm * 50 cm)	Formato de la hoja 1:5.000 (70cm * 50 cm)
Número de unidades	74	74
Territorio cubierto	Todo el Principado de Andorra y hojas 1:50.000 de las zonas fronterizas	Todo el Principado de Andorra y hojas 1:50.000 de las zonas fronterizas
Tamaño del píxel (original)	0.5 m	0.5 m

4.2.2 Los Planes de Ordenación Urbanística Parroquial (POUP)

Como se ha comentado anteriormente, los datos sobre edificación que contienen los POUP son muy heterogéneos. En ellos no se han recogido los mismos parámetros, y éstos, en el caso de ser los mismos, no se han clasificado de la misma forma. Esta falta de homogeneidad y estas diferencias en las clasificaciones hacen que, en muchos casos sea difícil identificar y separar valores, como se verá con detalle a continuación. Este hecho hace que las metodologías se hayan tenido que adaptar según los datos disponibles para que el estudio sea lo más homogéneo posible en todas las parroquias. A modo de ejemplo, según la metodología de Chávez (1998), la edad de los edificios se clasifica en tres periodos: hasta 1950, entre 1950 a 1970 y posteriores a 1970. En los POUP a veces se clasifican las edades con estos valores, pero en el caso de no clasificarse con estos valores se completan utilizando las fotografías aéreas de 1948 y 1972, al no existir las de 1950 y 1970. En el caso de las alturas pasa un caso similar, a veces es imposible diferenciar

entre cuatro plantas o cinco. Para intentar dar homogeneidad al estudio se han utilizado los mismos criterios para todas las parroquias.

A continuación, para cada uno de los POUP, se describen, de forma breve, los datos que se han podido utilizar y sus características.

4.2.2.1 Canillo

Para la parroquia de *Canillo* se contaba con los datos generados por el “*Pla d’Ordenació i Urbanisme de la Parròquia de Canillo*”. En este plan se había realizado un inventario de la evolución de la parroquia a través de la edad de la edificación. En este inventario se clasifican las edades de los edificios en tres grupos: los construidos antes de 1950, los construidos en el periodo 1950-1980, y los posteriores a 1980. También están recogidos los usos de los edificios, es decir si son residenciales, comerciales, hoteleros, industriales, talleres, etc.

Los datos disponibles (Tabla 4.3) pertenecen a todos los núcleos urbanos de la parroquia de *Canillo: l’Aldosa, les Bordes d’Envalira, Canillo, el Forn, Pont d’Incles, Meritxell, Prats, els Plans, Ransol, Soldeu* y por último *el Tarter*.

La Figura 4.3 muestra un ejemplo de los datos extraídos del documento que forma el “*Pla d’Ordenació i Urbanisme de la Parròquia de Canillo*”.

Tabla 4.3. Datos extraídos del Comú de Canillo.

Mapas	Formato	Clasificación
Edificación (diferentes mapas)	Mapa en papel	Hasta el año 1950 De 1950 a 1980 Posterior a 1980
Usos: Comercios, servicios, hosteleros, etc.	Mapa en papel	Vivienda Equipamientos Servicios Comercio Hostelera Patrimonio cultural

Uno de los datos principales que faltaba dentro del plan “*Pla d’Ordenació i Urbanisme de la Parròquia de Canillo*” era la altura de los edificios, esta se ha obtenido a través de visitas de campo. Para todas las parroquias las tipologías de los edificios, se han asignado a partir de reuniones con los arquitectos de la zona y con visitas de campo. Si se observa la clasificación por edades, la clasificación no separa los edificios construidos entre 1950 y 1970, así que este periodo se ha completado a través de la comparación de fotografías aéreas (año 1972), para separar la

franja entre 1950 y 1972. Para el límite inferior se ha comparado la clasificación de construcción hasta 1950 con la fotografía de 1948.

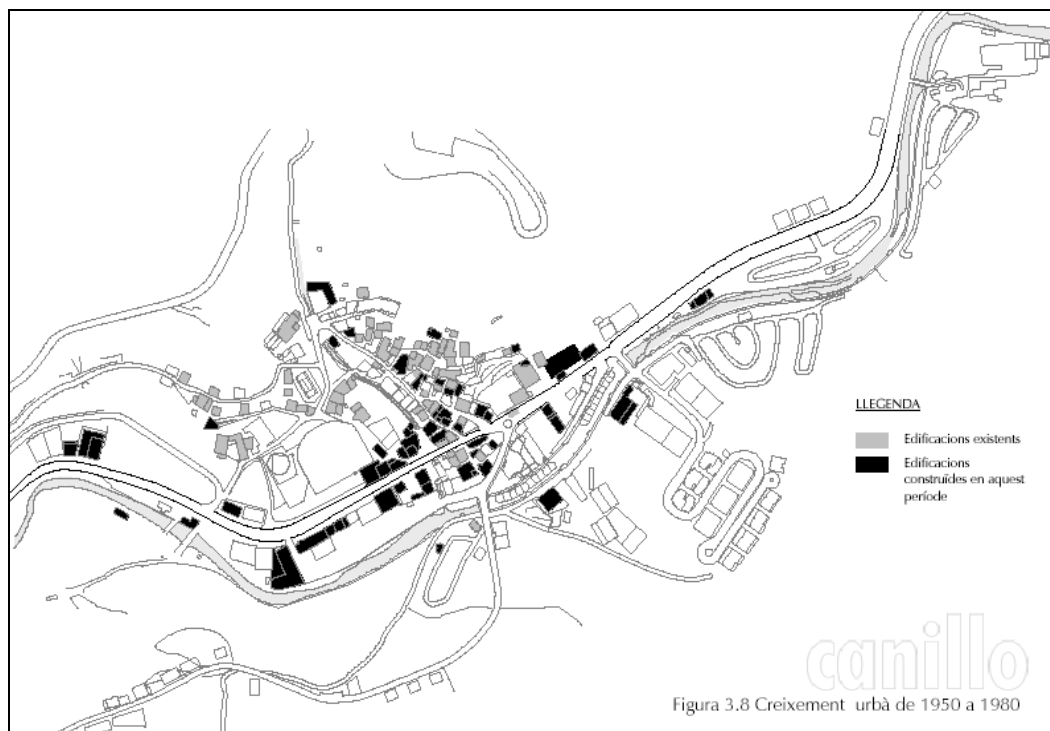


Figura 4.3. Datos extraídos del Comú de Canillo.

4.2.2.2 Encamp

Para la parroquia de *Encamp* se contaba con los datos generados por el “*Pla d’Ordenació i Urbanisme de la Parròquia de Encamp*”. El inventario de datos se realizó para los dos núcleos urbanos de la parroquia: *Encamp* y el *Pas de la casa*. Dentro del POUP los datos útiles para su inclusión en la base de datos son: edad, altura de los edificios y uso de la planta baja (Tabla 4.4).

En esta parroquia los datos que no están disponibles son las tipologías de los edificios y sus porcentajes. Para todas las parroquias este dato se ha realizado de la misma forma a partir de reuniones con los arquitectos de la zona y con visitas de campo. En la Tabla 4.5 se observa que no se ha recogido información de la construcción hasta 1950, esta clasificación se ha completado con la fotografía aérea del año 1948.

Tabla 4.4. Datos extraídos del Comú de Encamp.

Mapas	Formato	Clasificación
Edificación (diferentes mapas)	Mapa en papel	Hasta el año 1970 Hasta el año 1980 Hasta el año 1990
Altura de los edificios	Mapa en papel	PB - PB+1 PB+2 - PB+3 PB+4 - PB+5 PB+6 > PB+6
Uso de la planta baja	Mapa en papel	Vivienda Equipamientos Servicios Comercio Hostelera Otros

4.2.2.3 Ordino

Los datos del *“Pla d’Ordenació i Urbanisme de la Parròquia d’Ordino”* no estaban disponibles en el momento de realizar la base de datos, estos se han utilizado en la fase de validación. Del POUP se han utilizado, como información de validación, las fichas de edificios patrimoniales (Figura 4.4) que contienen, entre otros, datos referentes la época, al tipo constructivo y al número de plantas, etc.

Las fichas para los edificios actuales (Figura 4.5) recogen, entre otros datos, el número de plantas, el año de construcción, el tipo constructivo y la situación. En estas fichas no se recoge el mapa con la situación del edificio, así que ha sido necesario identificar el edificio en el mapa para validar la información.

Capítulo 4. Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico

Nº	CARRER: C.G.3	POBLACIÓ: EL SERRAT	NOM: BORDES FIJAT	REF: 14
----	---------------	---------------------	-------------------	---------

DESCRIPCIÓ	
SITUACIÓ	Aïllada
ACCÉS RODAT	Ctra. General
TIPUS	Borda
EPOCA	1830-1832
SUPERFÍCIE OCUPACIÓ	247,79 m2
ESTIL	Arquitectura tradicional de muntanya
APARCAMENT	
REVESTIMENT FAÇANA	Pedra



CROQUIS D'EMPLACAMENT	
	

ESTAT DE CONSERVACIÓ	
GLOBAL	
Estructures de suport	
Façanes	
Acabats interiors	
Forjats/Voltes	
Paviment	
Instal.lacions	
Cobertes	
Obertures	
Humitat	

Figura 4.4. Ejemplo de ficha de los edificios patrimoniales, extraídos del Comú de Ordino.

Nº	CARRER: C.G. 3	POBLACIÓ: EL SERRAT	NOM: URB. LES SUBIRANES	REF.: 3-33
----	----------------	---------------------	-------------------------	------------

SITUACIÓ	Aïllada
ACCÉS RODAT	Vial condicionat
TIPUS	Plurifamiliar
ALÇADA	PB + 4 -2
SUPERFÍCIE OCUPACIÓ	242,97 m2
SUPERFÍCIE TOTAL EDIFICADA	1.214,85 m2
US PLANTA BAIXA	Aparcament



ESTAT	Bon estat
ANY DE CONSTRUCCIÓ	
NOMBRE DE VIVENDES	6
NOMBRE HABITACIONS (HOTEL)	
ALTRES USOS	
APARCAMENT	Si
REVESTIMENT FAÇANA	Pedra

Figura 4.5. Ejemplo de ficha de los edificios actuales, extraídos del Comú de Ordino.

4.2.2.4 La Massana

Del “*Pla d’Ordenació i Urbanisme de la Parròquia de la Massana*” no se ha podido extraer información útil ni para la creación de la base de datos ni para la validación de éstos. Por lo tanto, se han tenido que recoger todos los parámetros.

4.2.2.5 Andorra la Vella

Para la parroquia de *Andorra la Vella* se ha contado con parte del catastro que el *comú* estaba realizando (Figura 4.6). Los datos, recogidos hasta octubre del 2003, contenían fundamentalmente el año de construcción y número de plantas. Sólo se disponía de un 45% de los edificios de la parroquia.

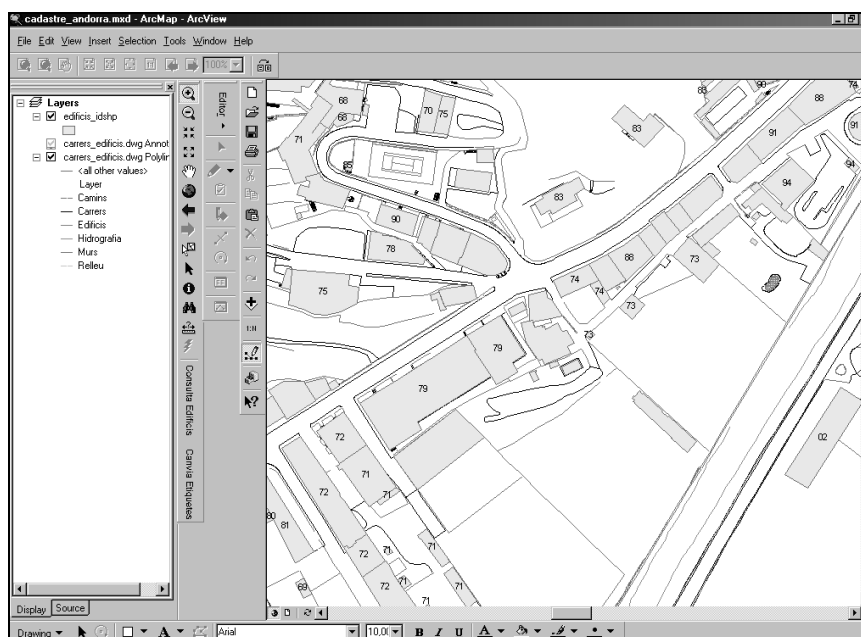


Figura 4.6. Ejemplo del catastro de Andorra la Vella (Documento interno del Comú d’Andorra la Vella).

Los demás datos se han recogido con visitas de campo, por comparación de fotografías aéreas y mediante entrevistas con los arquitectos de la zona.

4.2.2.6 Sant Julià de Lòria

Para la parroquia de *Sant Julià de Lòria* ocurre lo mismo que con la parroquia de *la Massana*, se han tenido que obtener todos los datos a partir de las fotografías aéreas y visitas de campo.

4.2.2.7 Escaldes-Engordany

Para la parroquia de *Escaldes-Engordany* contábamos con los datos generados en la primera fase del “*Pla d’Ordenació i Urbanisme de la Parròquia d’Escaldes-Engordany*”.

Este POUP es uno de los más completos en lo que se refiere a la información necesaria para la construcción de la base de datos de edificación (Tabla 4.5). Los datos con los que se han contado son:

- Periodo de construcción de los edificios. Clasificados hasta 1970, de 1970 a 1980, de 1980 a 1990 y de edad superior a 1990.
- Altura de los edificios. La altura de los edificios venía clasificada por PB - PB+1, PB+2- PB+3, PB+4- PB+5, PB+6 y más de PB+6.
- Estado de conservación de los edificios. Clasificado en: bueno, regular y con deficiencias.

Tabla 4.5. Datos extraídos del Comú d’ Escaldes-Engordany.

Mapas	Formato	Clasificación
Edificación (diferentes mapas)	Mapa en papel	Hasta el año 1970 Hasta el año 1980 Hasta el año 1990
Altura de los edificios	Mapa en papel	PB - PB+1 PB+2 - PB+3 PB+4 - PB+5 PB+6 > PB+6
Tipología de las viviendas	Mapa en papel	Unifamiliar Plurifamiliar
Uso de la planta baja	Mapa en papel	Vivienda Equipamientos Servicios Comercio Hostelera Otros
Usos: Comercios, servicios, hosteleros, etc.	Mapa en papel	Vivienda Equipamientos Servicios Comercio Hostelera Patrimonio cultural

En la Figura 4.7 se muestra un ejemplo de uno de los mapas cedidos por el *comú* en papel.

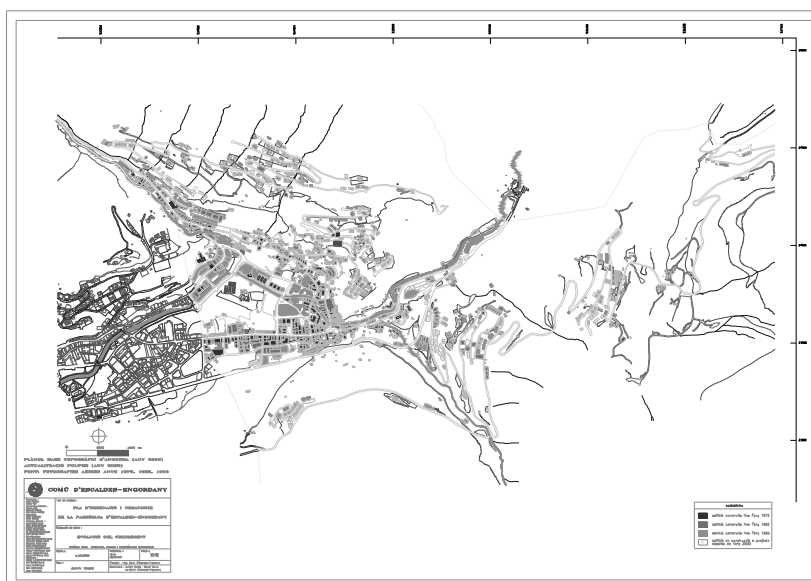


Figura 4.7. Ejemplo del Mapa de crecimiento urbano para la parroquia de Escaldes-Engordany.

Si se observan los datos vemos que no se han recogido datos de la construcción hasta 1950, esta se ha completado a partir de la fotografía aérea del año 1948.

4.3 Bases de datos de edificación

Los datos que se han presentado en los apartados anteriores no se obtuvieron todos al mismo tiempo, ya que estos se han ido creando según los *comuns* iban realizando sus propios POUP. También se ha visto que los datos son muy heterogéneos y no están completos para todo el territorio. A este hecho hay que añadir que la información disponible no estaba en formato digital, así que se tuvieron que incorporar a la cartografía de base uno a uno.

4.3.1 Épocas

Se describen, a continuación, las principales fases temporales empleadas para la construcción de las bases de datos, que fundamentan este estudio de riesgo.

4.3.1.1 1ª Época: Cartografía de base

El primer paso que se realizó para la creación de las bases de datos de la edificación fue la creación de una cartografía de base sobre la que incorporar los datos. Esta cartografía se creó a partir de la base cartográfica digital a escala 1:5.000 (Figura 4.8). De un total de 74 mapas a

escala 1:5.000 se extrajeron las capas pertenecientes a las edificaciones y se creó una capa en formato ArcGis de los edificios del Principado, después se extrajeron los límites parroquiales, las vías de comunicación y la red fluvial para completar la cartografía.

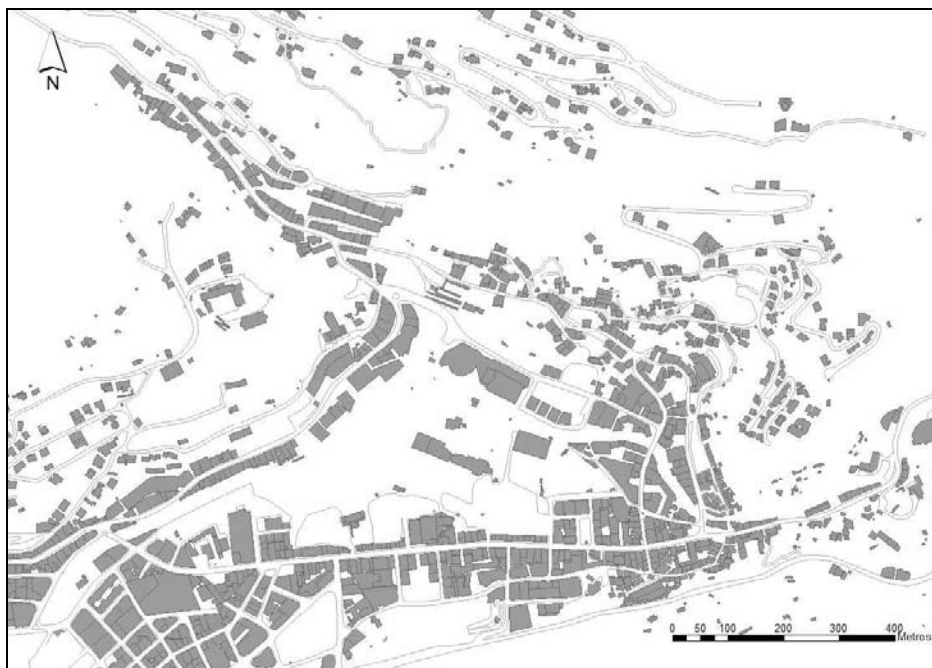


Figura 4.8. Ejemplo de la capa de polígonos para la parroquia de Escaldes-Engordany.

4.3.1.2 2ª Época: Fotografías aéreas y ortofotomapas

Los ortofotomapas del año 2003 han servido para completar la cartografía de edificios, ya que esta se realizó con la del año 1995. Así, para cada núcleo de población se añadieron los edificios construidos entre 1995 y 2003.

Las fotografías aéreas de 1948 y 1972 han servido, como se ha visto en el apartado de los POUP, para obtener la distribución de los edificios, en aquellas parroquias donde no existían estos datos. Así los periodos en los que se han clasificado estas parroquias son: hasta 1948, de 1948 a 1972 y posteriores a 1972.

4.3.1.3 3ª Época: Trabajo de campo

En la tercera época se realizó la recogida de datos a partir de visitas de campo (Figura 4.9). Los objetivos eran: 1) validar los datos obtenidos de la comparación de fotografías aéreas. 2) obtener, edificio por edificio, los diferentes parámetros necesarios para la realización del estudio como por

ejemplo la altura y el número de plantas, el uso y el estado del edificio, y 3) obtener la distribución de las tipologías estructurales para, posteriormente, validarlas con el criterio de experto, a través de las reuniones mantenidas con los arquitectos de la zona. Para la recogida de la distribución de las tipologías se estableció la muestra de los edificios que se tenían que encuestar. En el siguiente apartado se explica detalladamente cómo se calculó la muestra representativa.

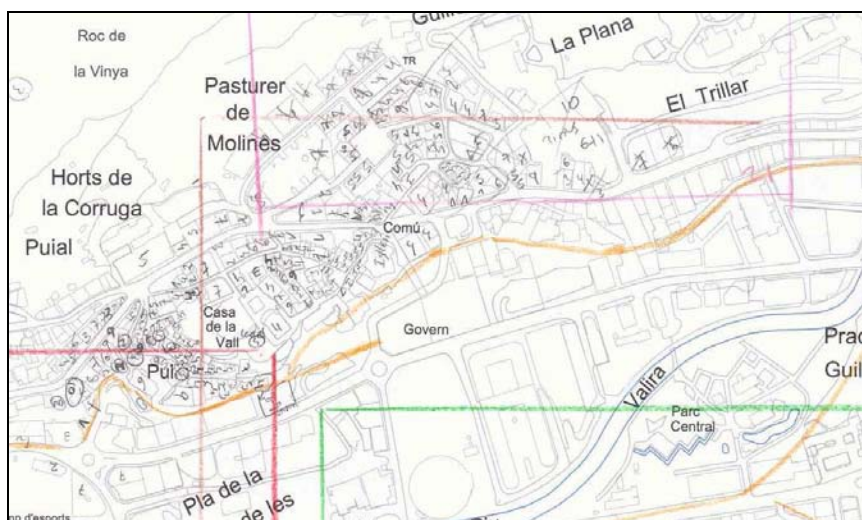


Figura 4.9. Ejemplo de la libreta de campo de las visitas realizadas.

4.3.2 Muestreo

Cuando la muestra intenta ser una representación a pequeña escala de una población (tipologías de edificios), su tamaño se ve afectado por la varianza poblacional. Cuanto más heterogénea es la población, mayor es su varianza. En consecuencia, se necesita un mayor tamaño muestral para que la variedad de sus componentes se halle representada en la muestra.

Además, si se desconoce el valor de la varianza, cómo ocurre en este caso, se recurre al supuesto más desfavorable: se toma el producto de las probabilidades “P” (aparición de suceso) y “Q” (no ocurrencia del suceso; siendo su valor igual a “1-P”) como equivalente a la varianza; ambas probabilidades presentarían el valor de 0.50, siendo el caso más desfavorable porque conlleva un tamaño muestral superior.

Por otra parte, el nivel de confianza expresa el grado de confianza que el investigador tiene para que su estimación se ajuste a la realidad. El nivel de confianza más utilizado es 2σ (Figura 4.10 y Tabla 4.6). Este nivel de confianza expresa que hay un 95,5% de probabilidad que la estimación muestral se halle comprendida en el intervalo definido por dos veces el error típico del parámetro

poblacional.

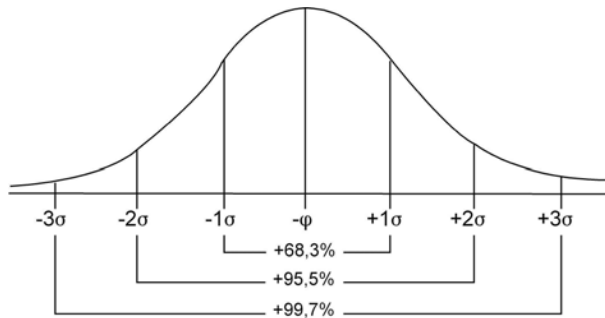


Figura 4.10. Distribución normal, valores: $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$ y $\pm 3\sigma$.

Tabla 4.6. Probabilidades comprendidas en los intervalos con distribución normal de: $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$ y $\pm 3\sigma$.

Valores de la distribución normal	Probabilidad comprendida en el intervalo
$\pm 1\sigma$	0.683
$\pm 2\sigma$	0.955
$\pm 3\sigma$	0.997

La distribución normal representa una curva perfectamente simétrica, en forma de campana, y que admite infinitos valores. El área total bajo la curva normal es 1. Si se toman dos unidades de desviación típica, la probabilidad de acierto se incrementa hasta el 95,5%. La plena seguridad de la estimación que se considera corresponde a una probabilidad de acierto del 99,7%, se alcanza dentro del intervalo $\pm 3\sigma$.

$$n = \frac{Z^2 \hat{P} \hat{Q} N}{E(N-1) + Z^2 \hat{P} \hat{Q}} \quad (4.1)$$

donde n define el tamaño de la muestra, P indica la probabilidad de que se dé un suceso, Q define la probabilidad de que no ocurra el suceso o evento, N es el tamaño de la población, Z es el número de unidades de la desviación típica (σ), es decir, se refiere al nivel de confianza elegido, y E es el error máximo permitido. P , es la aparición de un suceso. Así el error muestral interviene en la decisión sobre el tamaño de la muestra. En este caso se ha calculado la muestra (Tabla 4.7) para varios errores y para diferentes valores de σ , para decidir cual es la más conveniente. Se muestran como ejemplos las parroquia de *Andorra la Vella* y la de *Escaldes-Engordany*. Se observa que si escogemos la plena seguridad de estimación (3σ) con un error del 2.5 tenemos que recoger datos de casi el 90% de los edificios de cada polígono. Al final debido a la falta de tiempo se ha escogido el nivel de confianza más utilizado 2.5 y un error del 3.5, esto supone que tenemos que recoger información de entre el 60% para los polígonos que tienen un mayor número de edificios y un 80 - 90% para los polígonos que tienen muy pocos edificios. En las Figura 4.11 y

Capítulo 4. Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico

4.12 se muestran dos ejemplos de los diferentes recorridos realizados en la parroquia de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* para la obtención de la distribución estadística de cada tipología.

Tabla 4.7. Porcentaje de los edificios a encuestar en función de la distribución y el error escogido para las parroquias de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany*.

Parroquia	Polígonos	Nº de edificios	Muestra				
			Distrib.: 2σ Error: 2.5	Distrib.: 2σ Error: 3.5	Distrib.: 3σ Error: 2.5	Distrib.: 3σ Error: 3.5	Distrib.: 2σ Error: 4
Andorra la Vella	1	509	76 (%)	62 (%)	88 (%)	78 (%)	55 (%)
	2	594	73 (%)	58 (%)	86 (%)	76 (%)	51 (%)
	3	225	88 (%)	78 (%)	94 (%)	89 (%)	74 (%)
	4	65	96 (%)	93 (%)	98 (%)	97 (%)	91 (%)
Escaldes-Engordany	5	664	71 (%)	55 (%)	84 (%)	73 (%)	49 (%)
	6	523	75 (%)	61 (%)	87 (%)	78 (%)	54 (%)

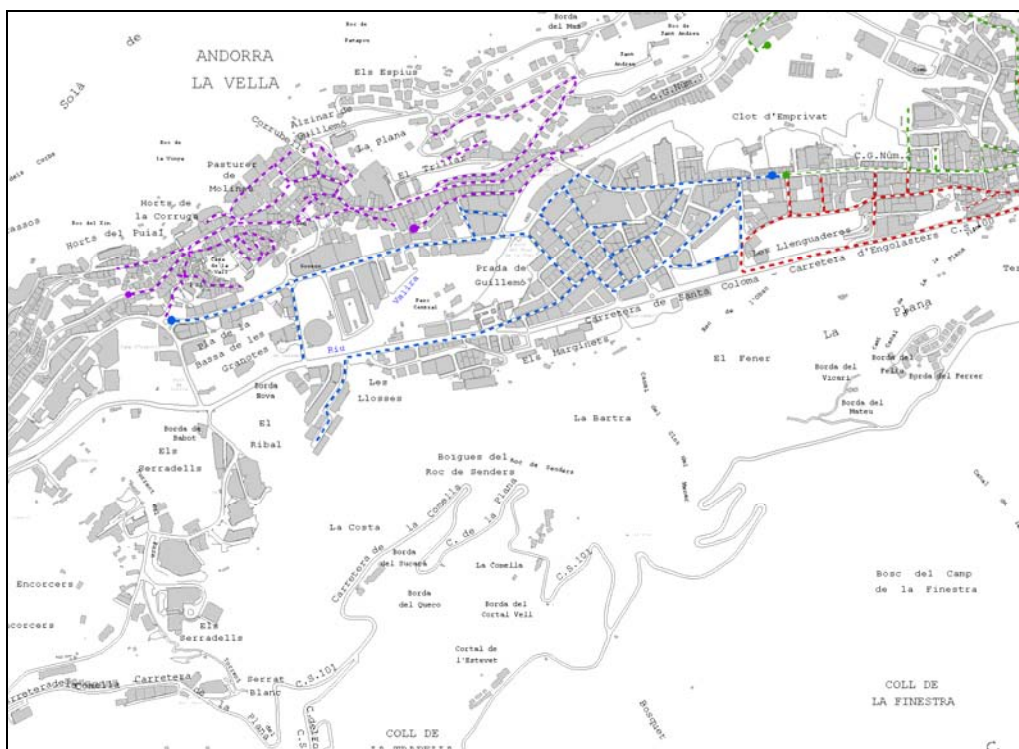


Figura 4.11. Recorridos realizados en las parroquias de *Andorra la Vella* y de *Escaldes-Engordany*. Los colores indican los recorridos en cada polígono, en verde y rojo para los polígonos de *Escaldes* y en morados y azules para dos de *Andorra la Vella*.

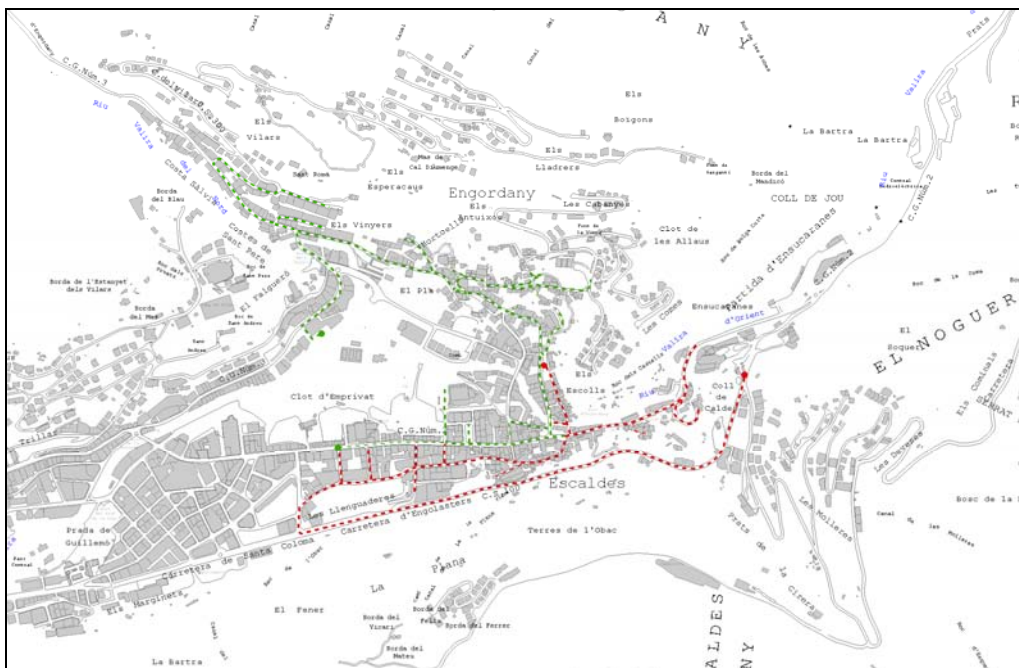


Figura 4.12. Recorridos realizados en la parroquia de Escaldes-Engordany. Los colores indican los recorridos en cada polígono, en verde y rojo para los polígonos de Escaldes.

4.3.3 Estructura de los datos sobre edificación

Todos los datos sobre la edificación recogidos se han estructurado en dos bases de datos, una para la aplicación de la metodología basada en clases de vulnerabilidad y la otra para la aplicación de la metodología basada en índices de vulnerabilidad.

Como veremos con más detalle en los apartados siguientes, la unidad de trabajo no es la misma para ambas metodologías. Para la metodología basada en clases de vulnerabilidad la unidad es la parroquia, a pesar de que los datos se han recogido a nivel individual, debido a su carácter estadístico no procede bajar a la unidad de edificio. Para la metodología basada en índices de vulnerabilidad la unidad es el polígono además los datos para esta metodología no se han recogido de forma individual sino de forma estadística. En la Tabla 4.8 se hace una síntesis de los datos que se han recogido y cómo se han clasificado.

Toda la información recogida está integrada en un sistema de información geográfico. A modo de ejemplo se muestran tres mapas para la *cubeta de Andorra*. Los mapas de las Figuras 4.13 y 4.14 muestran respectivamente la distribución de los edificios en función de la edad y la altura definidos en la metodología por Chávez (1998). El mapa de la Figura 4.15 muestra la distribución de los edificios en función sus usos (propuestos en el proyecto Risk-ue).

Tabla 4.8. Información recogida para la base de datos de edificación.

Parroquia	Datos	Clasificación
Canillo AD100	Clasificación de los edificios por edades	< 1949 1949-1972 >1972
	Clasificación de los edificios por alturas.	< 4 plantas = 4-5 plantas > 5 plantas
	Clasificación de los edificios por usos del edificio.	Según los usos de Risk-ue (Anexo 4)
	% de las tipologías de los edificios	Según las BTM de Risk-ue (Anexo 4)
Encamp AD200	Clasificación de los edificios por edades.	< 1949 1949-1972 >1972
	Clasificación de los edificios por alturas.	< 4 plantas = 4-5 plantas > 5 plantas
	Clasificación de los edificios por tipos de vivienda.	Unifamiliar Plurifamiliar
	Clasificación de los edificios por usos del edificio.	Según los usos de Risk-ue
	Clasificación de los edificios por el uso de la planta baja.	Según los usos de Risk-ue
	% de las tipologías de los edificios	Según las BTM de Risk-ue (Anexo 4)
Ordino AD300	Clasificación de los edificios por edades	< 1949 1949-1972 >1972
	Clasificación de los edificios por alturas	< 4 plantas = 4-5 plantas > 5 plantas
	% de las tipologías de los edificios	Según las BTM de Risk-ue (Anexo 4)
La Massana AD400	Clasificación de los edificios por edades	< 1949 1949-1972 >1972
	Clasificación de los edificios por alturas	< 4 plantas = 4-5 plantas > 5 plantas
	% de las tipologías de los edificios	Según las BTM de Risk-ue (Anexo 4)

Tabla 4.8. Información recogida para la base de datos de edificación (continuación).

Parroquia	Datos	Clasificación
Andorra la Vella AD500	Clasificación de los edificios por edades.	< 1949 1949-1972 >1972
	Clasificación de los edificios por alturas	< 4 plantas = 4-5 plantas > 5 plantas
	Clasificación de los edificios por tipos de vivienda	Unifamiliar Plurifamiliar
	Clasificación de los edificios por usos del edificio	Según los usos de Risk-ue
	% de las tipologías de los edificios	Según las BTM de Risk-ue (Anexo 4)
Sant Julià de Lòria AD600	Clasificación de los edificios por edades	< 1949 1949-1972 >1972
	Clasificación de los edificios por alturas	< 4 plantas = 4-5 plantas > 5 plantas
	% de las tipologías de los edificios	Según las BTM de Risk-ue (Anexo 4)
Escaldes-Engordany AD700	Clasificación de los edificios por edades	< 1949 1949-1972 >1972
	Clasificación de los edificios por alturas	< 4 plantas = 4- 5 plantas > 5 plantas
	Clasificación de los edificios por tipos de vivienda	Unifamiliar Plurifamiliar
	Clasificación de los edificios por usos del edificio	Según los usos de Risk-ue
	Clasificación de los edificios por el uso de la planta baja	Según los usos de Risk-ue
	% de las tipologías de los edificios	Según las BTM de Risk-ue (Anexo 4)

Capítulo 4. Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico

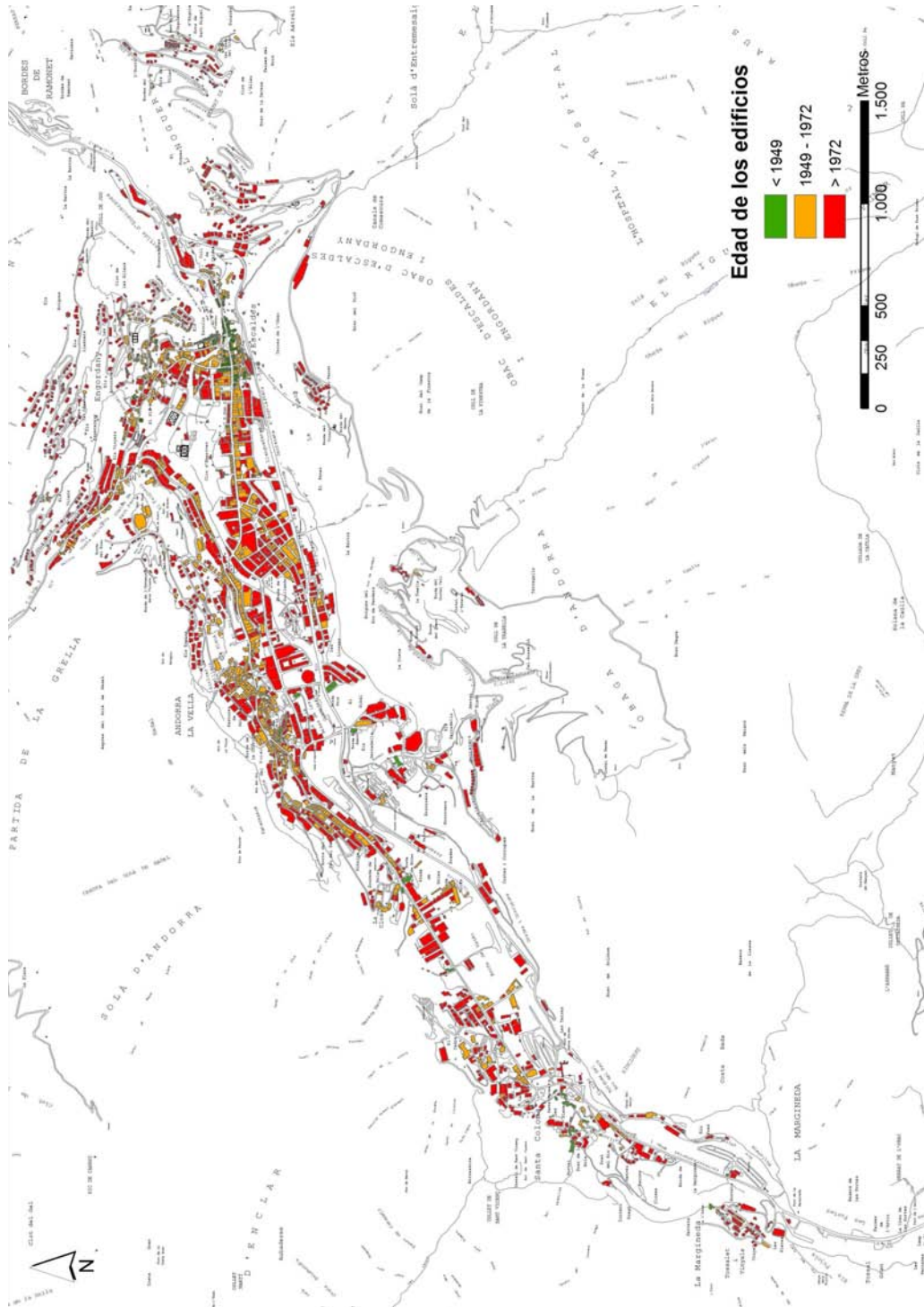


Figura 4.13. Distribución de la edad de los edificios para las parroquias de Andorra la Vella - Escaldes-Engordany.

Capítulo 4. Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico

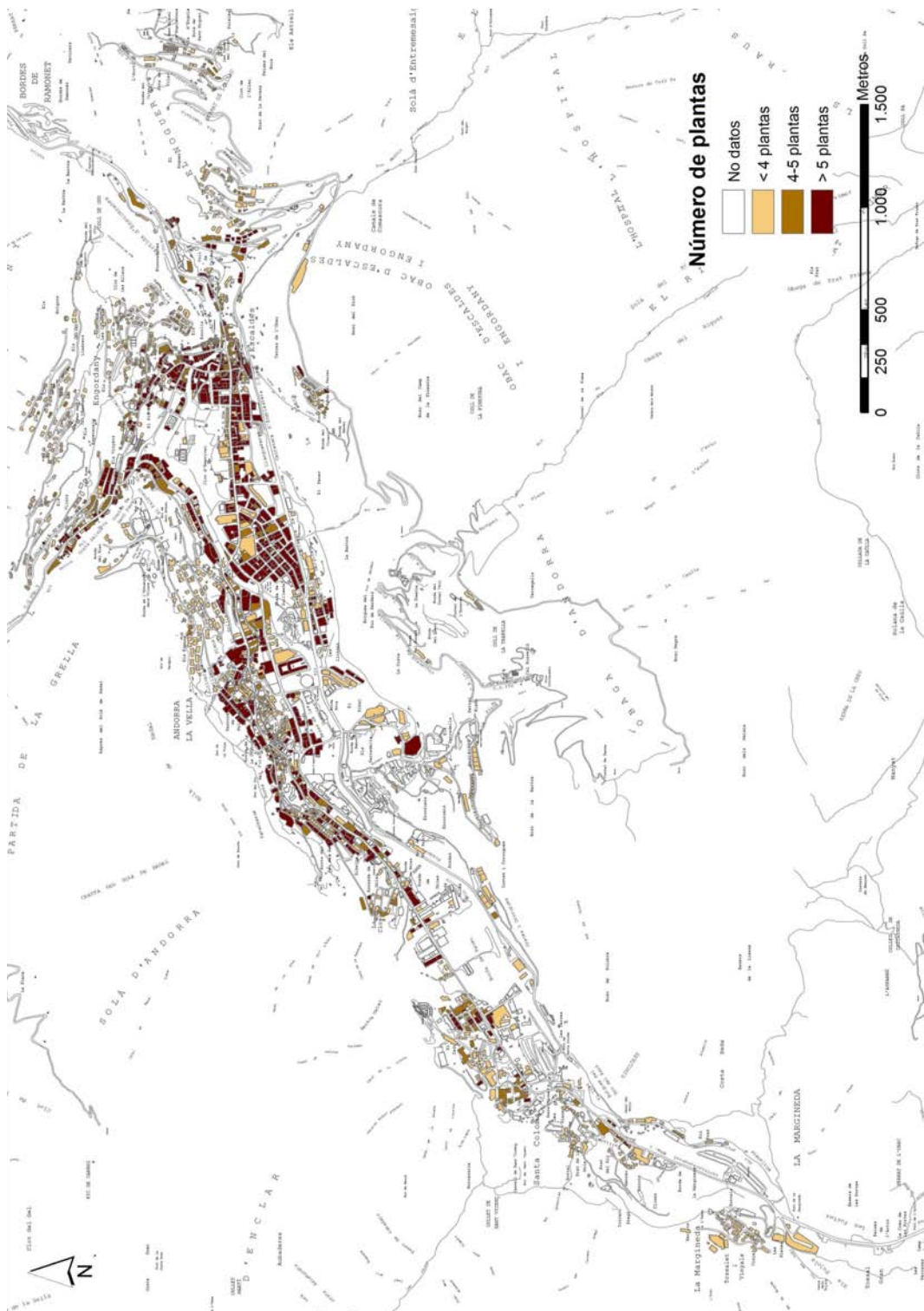


Figura 4.14. Distribución del número de plantas de los edificios para las parroquias de Andorra la Vella - Escaldes-Engordany.

Capítulo 4. Datos básicos de edificación y de población necesarios para la evaluación del riesgo sísmico

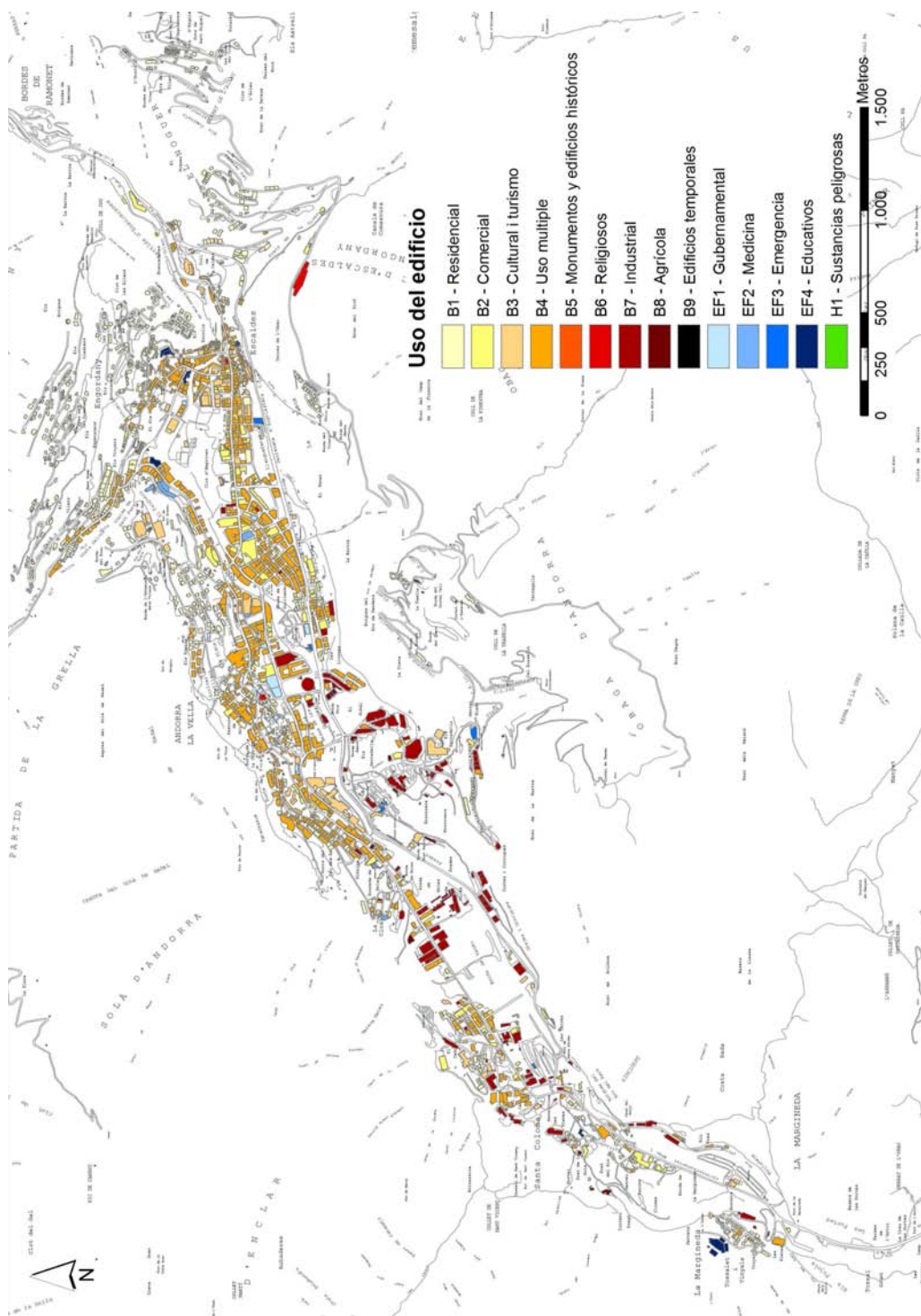


Figura 4.15. Distribución del uso de los edificios para las parroquias de Andorra la Vella - Escaldes-Engordany.

4.3.4 Tratamiento estadístico

Aunque la base de datos contiene información edificio por edificio, su tratamiento es forzosamente estadístico, ya que no es completa en sus detalles y los métodos utilizados son aproximaciones probabilistas. Se describen a continuación estos detalles para cada una de las dos metodologías empleadas.

4.3.4.1 Clases de vulnerabilidad según la escala EMS'98

Cómo se ha explicado en el capítulo metodológico (Capítulo 3), para clasificar los edificios en clases de vulnerabilidad, tal como se definen en la escala macrosísmica EMS'98, es necesario disponer del inventario de edificaciones y extraer la distribución de los edificios en función de la edad, la altura y la localización. Así pues, para la aplicación de la metodología basada en clases de vulnerabilidad, la recogida de la información se ha realizado de forma individual, es decir, edificio por edificio. Pero, la unidad de representación final del análisis es la parroquia, ya que al tener un enfoque estadístico no es procedente dar información referente a edificios individualizados. En el capítulo de resultados se ha realizado también el cálculo a nivel de polígonos para poder realizar la comparación de las metodologías (clases e índices de vulnerabilidad).

La Tabla 4.9 muestra la distribución por edades (Figura 4.16) y por altura (Figura 4.16) de los edificios de cada parroquia en porcentajes.

Tabla 4.9. Distribución por parroquias de las edades y alturas de los edificios según la clasificación propuesta por Chávez (1998), en porcentajes.

Parroquias	Nº Edificios	Edad de los edificios			Altura de los edificios		
		< 1949	1949-1972	> 1972	< 4 plantas	4-5 plantas	> 5 plantas
AD100	935	37	19	44	76	15	9
AD200	1.495	8	35	57	63	21	16
AD300	960	21	22	57	58	40	2
AD400	1.698	14	21	65	62	28	10
AD500	1.363	4	41	55	40	19	41
AD600	1.590	4	38	58	70	13	17
AD700	1.187	9	38	53	62	15	23

De la observación de la Tabla 4.10 se extraen las siguientes conclusiones: 1) para todas las parroquias, alrededor del 50% de la edificación, se ha construido después de los años 70; 2) para las construcciones anteriores a 1949 hay gran variación entre los porcentajes de edificios que

pertencen a las diferentes parroquias, esto puede ser debido a la dificultad de recoger estos datos a partir de la fotografía aérea por su escala o a que, en muchas de las parroquias, estos edificios se han rehabilitado o se han construido de nuevo o, a qué en algunos POUP, como es el caso de la parroquia de Ordino y Canillo, esta información estaba muy detallada (Figura 4.16).

Respecto a la altura de los edificios (Figura 4.17), a excepción de *Andorra la Vella*, entre el 60 y 70% de los edificios tienen alturas inferiores a 4 plantas. *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* seguidas de *Sant Julià de Lòria* son las que mayor porcentaje de edificios superiores a 5 plantas tienen, con unos porcentajes del 42, 24 y 17% respectivamente.

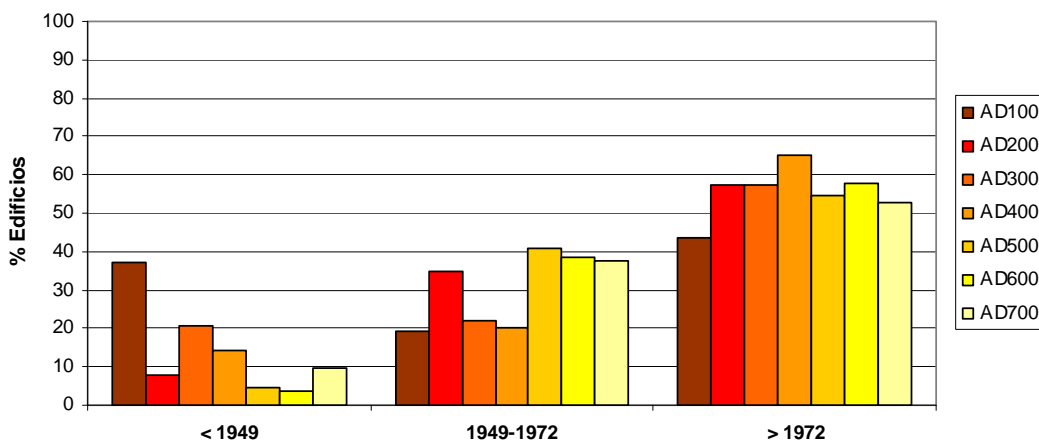


Figura 4.16. Distribución de los edificios por edades para las 7 parroquias del Principado.

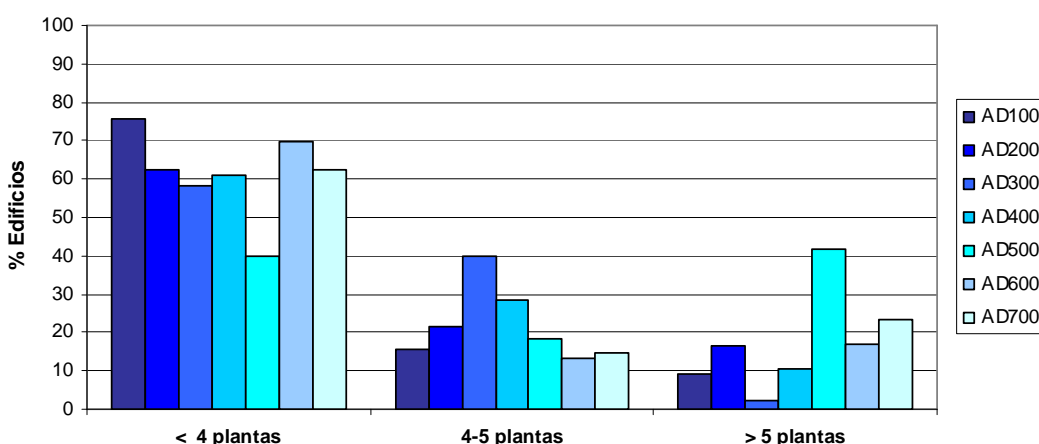


Figura 4.17. Distribución de los edificios por alturas para las 7 parroquias del Principado.

La estructura de la base de datos realizada para la aplicación de la metodología de clases de vulnerabilidad está basada en la Tabla 3.1 (ver Anexo 4, Tabla 13.3). Donde se clasifican los edificios en función de su altura, edad de construcción y situación.

4.3.4.2 Índices de vulnerabilidad. Risk-ue

Para la aplicación de la metodología basada en índices de vulnerabilidad, como se ha visto en el capítulo metodológico, es necesario tener información de las tipologías constructivas existentes en el Principado. Este dato no estaba contenido en ninguno de los POUP, ni en los archivos de los *comuns*. Para la obtención de esta información se han realizado entrevistas a los arquitectos de la zona, conocedores de las tipologías representativas y de sus etapas constructivas y visitas de campo, con la finalidad de definir los porcentajes que corresponden a cada tipología estructural.

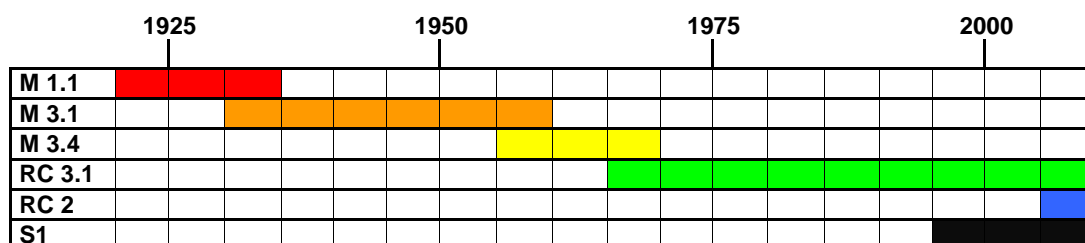
En la zona de estudio se han definido 6 tipologías representativas (Figura 4.18), clasificadas en función de las tipologías estructurales propuesta en el proyecto Risk-ue (Milutinovic y Trendafiloski, 2003). Tres de ellas tienen estructura de mampostería: Piedra fragmentada irregular o al natural (M1.1), solera de madera (M3.1), losas de hormigón armado (M3.4), adobe (M2); dos estructura de hormigón armado: Pórticos de hormigón armado rellenos de mampostería: rellenos regularmente (RC3.1), muros de cortante de hormigón armado (RC 2) y uno de acero (S1).



Figura 4.18. Tipologías constructivas presentes en Andorra.

A modo de resumen (Tabla 4.10) podemos decir que hasta 1930-1935 se construían casas de piedra, a partir de esta fecha el sistema de construcción cambió a estructuras de mampostería (sistema catalán) con soleras de madera, a partir de 1955-1960 se construyen edificios mixtos (muros de mampostería y losas de hormigón y cerámica), a partir de 1960-1965 estructuras de hormigón (pilares de hormigón y forjados de hormigón). En los dos ó tres últimos años se están construyendo edificios de Muros de cortante de hormigón armado (RC2) pero sólo hay 4 ó 5 en todo el país, de momento no es una tipología representativa.

Tabla 4.10. Periodos de construcción de las diferentes tipologías constructivas en Andorra.



A partir de las visitas de campo se definieron los porcentajes pertenecientes a cada una de las tipologías distribuidos según la edad y la altura, estos valores fueron validados y modificados en la última etapa por arquitectos del país. Los datos no se recogieron a nivel individual, sino a nivel de polígono. Como ejemplo, se muestran las distribuciones que se obtuvieron para los polígonos de la parroquia de *Andorra la Vella* (Tablas 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14).

Tabla 4.11. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5001 (Andorra - Santa Coloma).

AD5001		Edad			
Nº plantas	Estructura	Tipología	< 1949	1949-1972	> 1972
< 4 plantas	Mampostería	M 1.1	70		
		M 3.1	30	30	5
		M 3.4		50	5
	Hormigón armado	RC 3.1		20	80
	Acero	S1			10
4-5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1	100	30	5
		M 3.4		50	5
	Hormigón armado	RC 3.1		20	80
	Acero	S1			10
> 5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1	100	20	5
		M 3.4		50	5
	Hormigón armado	RC 3.1		30	80
	Acero	S1			

Tabla 4.12. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5002 (Andorra).

AD5002			Edad		
Nº plantas	Estructura	Tipología	< 1949	1949-1972	> 1972
< 4 plantas	Mampostería	M 1.1	70		
		M 3.1	30	45	10
		M 3.4		45	10
	Hormigón armado	RC 3.1		10	80
	Acero	S1			
4-5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1		45	10
		M 3.4		45	10
	Hormigón armado	RC 3.1		10	80
	Acero	S1			
> 5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1		20	10
		M 3.4		50	10
	Hormigón armado	RC 3.1		30	80
	Acero	S1			

Tabla 4.13. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5003 (Eixample).

AD5002			Edad		
Nº plantas	Estructura	Tipología	< 1949	1949-1972	> 1972
< 4 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1		30	5
		M 3.4		50	5
	Hormigón armado	RC 3.1		20	80
	Acero	S1			10
4-5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1			
		M 3.4			
	Hormigón armado	RC 3.1			
	Acero	S1			
> 5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1		30	5
		M 3.4		50	5
	Hormigón armado	RC 3.1		20	80
	Acero	S1			10

Finalmente se realizó la estructura de la base de datos de edificación para la realización del análisis de la vulnerabilidad sísmica de los edificios según la metodología de los índices de vulnerabilidad (Anexo 4 Tabla 13.3). En esta Tabla los valores L y H hacen referencia a la altura del edificio, L si es igual o menor a 5 plantas y H si es mayor que 5 plantas. Los valores A, B y C hacen referencia a la edad, si es menor que 1949, entre 1949 y 1972 y mayor que 1972 respectivamente. Por último los valores N y T si son edificios con la planta baja normal o si son plantas blandas.

Tabla 4.14. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono AD5004 (La Comella).

AD5002			Edad		
Nº plantas	Estructura	Tipología	< 1949	1949-1972	> 1972
< 4 plantas	Mampostería	M 1.1	70		
		M 3.1	30	45	5
		M 3.4		45	5
	Hormigón armado	RC 3.1		10	70
	Acero	S1			20
4-5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1			
		M 3.4			
	Hormigón armado	RC 3.1			
	Acero	S1			
> 5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1			10
		M 3.4			10
	Hormigón armado	RC 3.1			80
	Acero	S1			

4.3.5 Bases de datos finales

La base de datos de edificación creada para este estudio está dividida en dos partes bien diferenciadas en base a la metodología a aplicar, clases o índices de vulnerabilidad. Para el primer caso, se han recogido datos de 9.228 edificios, que son los que forman el parque de edificios de vivienda del Principado; para cada uno de ellos se ha obtenido información referente a edad, altura, uso y estado del edificio; la unidad de trabajo es la parroquia, por lo tanto toda la información recogida está referida a las 7 parroquias que forman administrativamente el Principado de Andorra. Para el segundo caso, como unidad de representación se ha escogido el polígono, en total se han definido 26 polígonos para toda Andorra; los datos se han recogido de forma estadística y se han aplicado al conjunto de edificios que pertenecen a cada uno de los polígonos para la obtención de las distribuciones necesarias para la realización de la base de datos (Anexo 4, Tablas 13.3 y 13.4). La cartografía de base pertenece al año 1995 y se ha actualizado con el ortofotomapa del 2003.

4.4 Resumen y discusión

En este capítulo se han presentado los datos en los que se va a basar el análisis de riesgo sísmico de los edificios de vivienda del Principado de Andorra. A falta de un catastro, los datos utilizados para la construcción de las bases de datos de edificación, se han obtenido de diferentes fuentes: a partir de bibliografía, a partir de información perteneciente a los POUP, por comparación de

fotografías aéreas de diferentes años, principalmente las de los años 1948 y 1972, a través de visitas de campo y por criterio de expertos. La cartografía de base para la introducción de la información se ha creado a partir de los 47 mapas de la cartografía oficial, a escala 1:5.000, del *Govern d'Andorra*, del año 1995 y completada con los ortofotomapas del año 2003.

La implementación de la información en un SIG ha sido de gran utilidad para gestionar los datos de los 9228 edificios y de su distribución adecuada en su parroquia o en su polígono. El SIG también permite la creación de mapas temáticos de forma rápida y ágil, al igual que la incorporación de nueva información.

Se han creado dos bases de datos de edificación diferentes (Anexo 4) en función de la metodología a utilizar (Clases e Índices de vulnerabilidad). Las bases de datos de edificación que se han creado para este estudio tienen la característica, respecto a las de los países que cuentan con catastro, que únicamente contienen los parámetros necesarios para la aplicación de los métodos de evaluación escogidos, es decir, son bases de datos realizados a medida. Un cambio de la metodología a aplicar conllevaría una modificación en las bases de datos para recoger nuevos parámetros o adaptar la información existente. Pero, sin las bases de datos que se han creado resultaría imposible llevar a cabo la evaluación del riesgo sísmico del Principado de Andorra. Somos conscientes que en el momento en que se cree un catastro, o en el que alguno de los organismos de estadística existentes asuma el papel de catastro la creación de una base de datos de este tipo no tendrá sentido. Pero hasta la fecha de hoy es la única herramienta existente para la realización un análisis de vulnerabilidad sísmica de los edificios de vivienda del Principado, así como para la realización de escenarios de riesgo útiles para la gestión de la emergencia.

5 Peligrosidad sísmica en el Principado de Andorra para la estimación del riesgo.

5.1 Introducción

La peligrosidad sísmica es, junto con la vulnerabilidad sísmica, uno de los elementos fundamentales para la realización de estudios de riesgo sísmico en una región determinada. Hace referencia a la probabilidad de que en un punto determinado y en un tiempo determinado se supere un movimiento del suelo debido a un evento sísmico. Suele expresarse con las mismas unidades con que se define el movimiento del suelo: aceleración, velocidad y desplazamiento. También se expresa en grados de intensidad macrosísmica, medida de la percepción de los efectos del terremoto sobre la naturaleza, el hombre y las edificaciones.

La evaluación de la peligrosidad sísmica puede realizarse por métodos deterministas o por métodos probabilistas. Los métodos deterministas consideran que la sismicidad es repetitiva y que, por consiguiente, en el futuro no se producirán terremotos que excedan los parámetros del movimiento del suelo que han ocurrido anteriormente. Por este motivo, se suelen tomar los mayores valores registrados en eventos pasados. Mientras que los métodos probabilistas examinan la sismicidad pasada en una región para generar leyes estadísticas que la representen. Como resultado se obtiene la probabilidad de ocurrencia de determinados niveles de actividad sísmica en una región determinada y en un periodo de tiempo considerado.

En general, los valores del movimiento del suelo obtenidos en los estudios de peligrosidad sísmica a escala regional expresan los resultados sobre un suelo de tipo medio, pero cambios en las condiciones del suelo (de suelo duro a terreno blando), y en la topografía del lugar modifican el movimiento del suelo esperado en un punto. Por lo tanto, los estudios a escala local deben considerar los efectos de suelo, los efectos topográficos, así como otros: los efectos inducidos por los sismos como son los deslizamientos y la licuefacción. Así, para calcular la peligrosidad sísmica en un punto del territorio se deben considerar por una parte la peligrosidad sísmica regional y, por otra, los efectos locales. La combinación de estas dos escalas de estudio permite realizar una mejor planificación del uso del suelo para la reducción de futuras pérdidas provocadas por terremotos. En este sentido, dentro del proyecto ISARD, se ha realizado la evaluación de la peligrosidad sísmica del Principado de Andorra. Esta evaluación se ha realizado a las dos escalas mencionadas, una a nivel regional, integrada dentro de un estudio de la peligrosidad sísmica para

todo el Pirineo (Secanell, *et al.* 2008) y otra a escala local, en el estudio de microzonación sísmica de la *cabeta de Andorra* (Coral, H., 2002; Macau *et al.*, 2006; Macau, 2008).

En este capítulo se realiza una descripción de la sismicidad de la región, de los diferentes mapas de peligrosidad sísmica existentes y de la incorporación de los efectos locales de suelo esperados en la zona de la *cabeta de Andorra*. Finalmente se definen los escenarios sísmicos que fundamentarán el análisis de riesgo mediante la realización de escenarios de daño.

5.2 Sismicidad

La distribución de la sismicidad en los Pirineos no es homogénea (Figura 5.1). La actividad más importante se sitúa al Norte de la zona Axial, en la parte central y occidental de la cadena montañosa, a lo largo de la falla Nord-Pirenaica. Esta actividad parece bastante regular en el tiempo. En ella se han producido sismos históricos de intensidades epicentrales superiores a VII. Los sismos más conocidos en esta zona de los Pirineos son los sismos del 19 de noviembre de 1923 ($I_0 = VIII$, en la región del *Vall d'Aran*), el del 24 de mayo de 1750 ($I_0 = VIII$, en la región de Lourdes), el 2 de junio de 1960 ($I_0 = VIII-IX$, en la región de *Bagnères de Bigorre*) y 13 de agosto de 1967 ($I_0 = VIII$, en la región de *Arette*). Hacia el Norte y hacia el Sur la sismicidad disminuye, aunque estas zonas también han sido afectadas por sismos históricos como el del 13 de agosto de 1923 ($I_0 = VII-VIII$, $M = 5.4$) ocurrido en los Pirineos aragoneses.

Los Pirineos orientales muestran una sismicidad distinta, más moderada y más difusa que la de los Pirineos occidentales. Los datos macrosísmicos indican que ocurrió una crisis sísmica importante durante el siglo XV, que incluye el gran terremoto del 2 de febrero de 1428 en el Ripollès (Girona) ($I_0 = IX$). En el Norte de la zona axial oriental varios sismos históricos y otros más modernos, registrados en estaciones sísmicas, muestran la actividad sísmica del extremo oriental de la falla Nord-Pirenaica. En particular, los sismos de *Sant Paul de Fenouillet* del 23 de julio de 1922 y del 18 de febrero de 1996 de $M_L = 5.2$, situados en el Macizo de *Agly* son ejemplos de esta actividad sismotectónica.

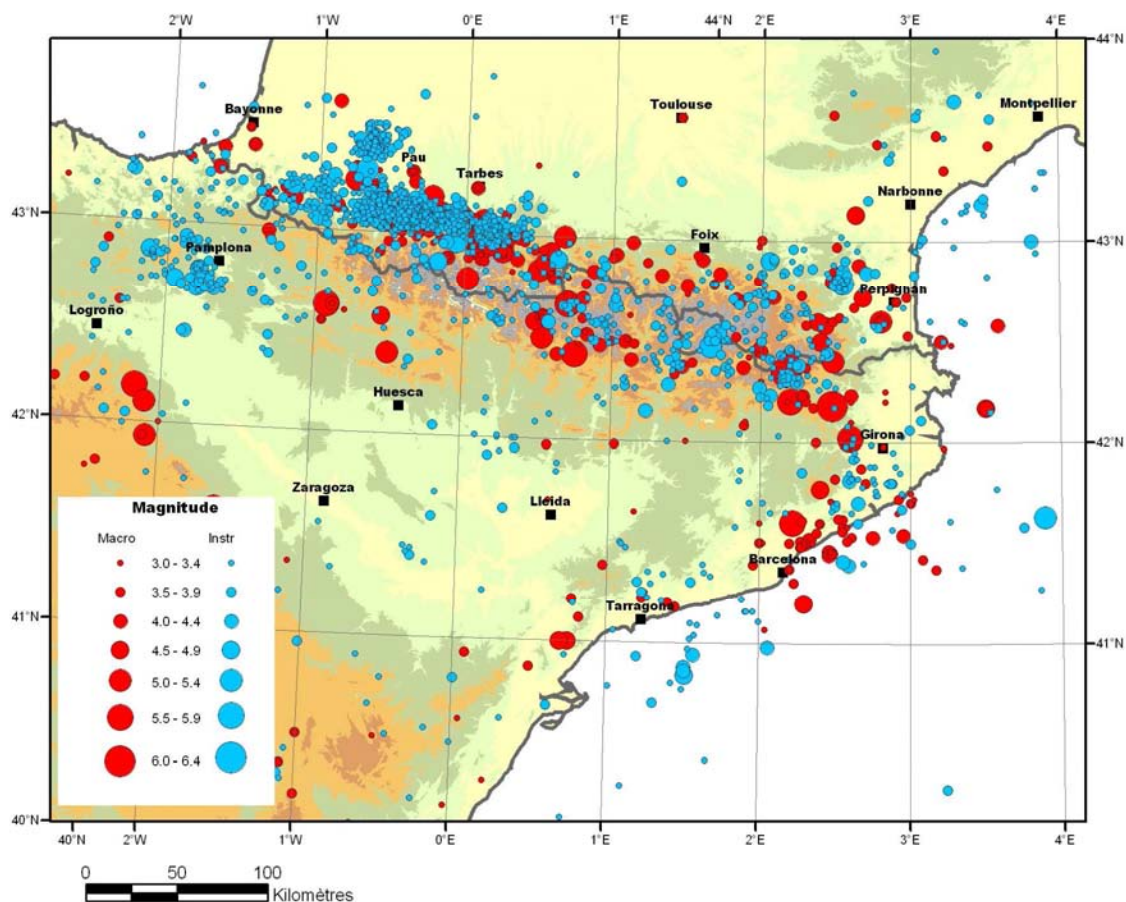


Figura 5.1. Sismicidad del Pirineo basada en el Catálogo unificado (Secanell et al., 2008)

En Andorra la sismicidad reciente más importante que se ha registrado ha sido la de la crisis sísmica de 1970 (Susagna y Goula, 1999), que duró del 13 al 18 de marzo de 1970. Las intensidades máximas fueron de V-VI, en los sismos del 14 de marzo a las 15:48 (T.U) (Figura 5.2a) y del 16 de marzo a las 06:26 (T.U) (Figura 5.2b). En la Tabla 5.1 se presenta un listado con los sismos más importantes del Principado de Andorra. En la Tabla 5.2 se presenta un listado con los sismos registrados en la *Xarxa Sísmica de Catalunya* del *Institut Geològic de Catalunya* (antes *Institut Cartogràfic de Catalunya*).

Capítulo 5. Peligrosidad sísmica en el Principado de Andorra y escenarios sísmicos para la estimación del riesgo



Figura 5.2a. Terremoto del 14 de marzo de 1970 a las 15:48 horas (T.U). Fue el primer terremoto de los tres principales de la serie sísmica de Andorra con intensidad V-VI (Susagna y Goula, 1999).

Figura 5.2b. Terremoto del 16 de marzo de 1970 a las 06:26 horas (T.U). Fue el segundo de los tres principales de la serie sísmica de Andorra con intensidad V-VI (Susagna y Goula, 1999).

Tabla 5.1. Sismos más importantes del Principado de Andorra (Susagna y Goula, 1999).

Fecha	Hora (T.U)	Intensidad	Región
10-03-1900	00:00	III	Les Escaldes
10-03-1967	00:00	III	Les Escaldes
13-03-1970	23:15	IV	Andorra (Serie sísmica de Andorra)
14-03-1970	00:09		Andorra
14-03-1970	00:32		Andorra
14-03-1970	08:46		Andorra
14-03-1970	15:48	V - VI	Andorra
15-03-1970	09:55		Andorra
16-03-1970	06:26	V - VI	Andorra
16-03-1970	06:53		Andorra
18-03-1970	02:47		Andorra
05-04-1970	06:49	V - VI	La Tor de Querol
20-08-1970	01:18	IV	Andorra
04-09-1971	15:11	IV	Andorra

Tabla 5.2. Terremotos instrumentales de la zona en el periodo 1984-2009. Datos extraídos de los Butlletins Sismològics del Servei Geològic - Institut Cartogràfic de Catalunya (Actualmente Institut Geològic de Catalunya).

Fecha	Hora (T.U)	Latitud (°)	Longitud (°)	Prof (km)	Mag (M _L)	Fecha	Hora (T.U)	Latitud (°)	Longitud (°)	Prof (km)	Mag (M _L)
23-11-1985	13:21:32.9	42.56 N	1.69 E	-	3.2	24-07-2000	00:19:22.2	42.59 N	1.70 E	2	1.0
24-02-1986	12:39:14.5	42.71 N	1.52 E	-	2.4	05-02-2001	09:54:36.8	42.45 N	1.58 E	17	0.8
12-06-1987	04:44:46.7	42.59 N	1.44 E	1	3.0	23-02-2001	04:01:34.0	42.60 N	1.72 E	-	0.6
18-01-1989	07:04:01.8	42.56 N	1.61 E	12	2.5	02-07-2001	20:59:46.0	42.56 N	1.69 E	10	0.4
02-11-1991	05:42:14.1	42.65 N	0.53 E	1	2.5	02-07-2001	21:12:15.0	42.47 N	1.72 E	4	0.8
21-01-1992	10:34:26.6	42.66 N	1.64 E	9	2.7	25-07-2001	21:29:38.4	42.51 N	1.46 E	4	0.4
29-04-1992	11:44:11.7	42.60 N	1.55 E	2	-	31-07-2001	10:59:55.9	42.60 N	1.70 E	3	1.1
16-08-1995	21:03:30.0	42.50N	1.76 E	2	1.7	19-11-2001	19:21:16.5	42.61 N	1.67 E	10	0.5
11-09-1995	00:31:21.8	42.52 N	1.76E	3	2.4	10-02-2002	05:14:05.5	42.52 N	1.60 E	10	0.5
19-09-1995	02:48:55.1	42.65 N	1.75 E	2	2.0	07-03-2002	08:32:11.2	42.61 N	1.62 E	4	0.9
19-09-1995	19:49:25.7	42.64 N	1.75 E	5	1.9	17-01-2003	22:18:03.3	42.57 N	1.48 E	10	-
07-02-1996	22:54:28.3	42.55 N	1.63 E	8	2.0	02-02-2003	16:52:45.9	42.61N	1.70 E	7	0.0
10-06-1996	01:57:15.7	42.55 N	1.57 E	-	-	22-04-2003	19:12:14.2	42.48 N	1.55 E	8	0.6
16-06-1996	10:24:52.0	42.55 N	1.57 E	-	1.7	26-09-2003	10:57:30.7	42.56 N	1.64 E	4	0.2
16-06-1996	10:31:21.5	42.56 N	1.57 E	4	2.0	25-12-2003	15:03:32.6	42.54 N	1.68 E	10	-0.3
20-06-1996	20:03:01.8	42.59 N	1.63 E	-	2.0	29-06-2004	07:32:44.9	42.51 N	1.62 E	10	1.2
02-07-1996	04:41:31.0	42.59 N	1.54 E	-	-	02-08-2004	15:02:52.5	42.62 N	1.63 E	10	0.7
22-10-1997	15:16:07.8	42.57 N	1.64 E	4	1.1	28-05-2005	02:42:15.9	42.47 N	1.51 E	10	-0.3
24-11-1997	22:21:18.4	42.50 N	1.74 E	3	1.0	17-06-2005	10:38:02.7	42.59 N	1.58 E	10	1.0
02-08-1998	06:35:51.7	42.52 N	1.66 E	5	1.7	08-07-2005	02:42:56.4	42.55 N	1.70 E	10	0.8
11-01-1999	02:52:03.2	42.52 N	1.73 E	3	2.0	11-09-2005	13:51:06.7	42.54 N	1.70 E	10	0.3
15-01-1999	20:17:12.9	42.52 N	1.73 E	1	1.7	28-04-2006	16:56:00.2	42.65 N	1.50 E	6	0.8
15-01-1999	23:30:04.2	42.51 N	1.74 E	2	1.3	18-08-2006	18:47:41.6	42.49 N	1.54 E	5	0.2
19-04-1999	14:34:30.4	42.57 N	1.70 E	5	1.7	22-09-2006	02:23:01.9	42.55 N	1.63 E	5	0.0
05-09-1999	14:50:57.7	42.61 N	1.64 E	-	0.7	05-11-2006	03:08:21.6	42.63 N	1.53 E	13	-
09-09-1999	14:35:17.6	42.54 N	1.64 E	-	-	10-02-2007	19:37:54.9	42.51 N	1.52 E	9	0.0
19-09-1999	05:14:19.8	42.61 N	1.60 E	2	1.4	13-03-2007	00:14:39.3	42.56 N	1.52 E	6	-
19-09-1999	05:27:20.0	42.60 N	1.64 E	-	-	12-04-2007	20:34:20.4	42.58 N	1.54 E	9	-
19-09-1999	14:08:21.6	42.59 N	1.62 E	8	1.2	13-04-2007	21:22:33.6	42.59 N	1.53 E	7	-
26-09-1999	22:07:24.3	42.58 N	1.68 E	8	1.0	15-04-2007	09:47:05.5	42.52 N	1.69 E	3	0.4
30-09-1999	09:01:27.5	42.61 N	1.65 E	-	-	27-04-2007	10:57:03.7	42.49 N	1.57 E	2	1.6
06-10-1999	22:26:16.8	42.59 N	1.65 E	5	-	25-05-2007	00:26:48.4	42.60 N	1.52 E	10	-
08-10-1999	14:02:35.5	42.59 N	1.55 E	-	-	09-06-2007	02:28: 3.15	42.62 N	1.56 E	2	nd.
22-01-2000	14:50:58.6	42.59 N	1.69 E	2	1.1	24-09-2007	00:47:47.48	42.54 N	1.59 E	3	1.0
02-02-2000	13:35:07.3	42.61 N	1.71 E	-	-	28-09-2007	03:38:17.46	42.61 N	1.47 E	4	0.4
02-02-2000	17:56:52.9	42.59 N	1.70 E	-	0.9	09-03-2008	04:59:01.40	42.54 N	1.54 E	4	0.2
02-02-2000	22:43:40.9	42.59 N	1.70 E	3	1.2	28-03-2009	00:13:16.46	42.49 N	1.45 E	16	-

5.3 Mapas de peligrosidad sísmica de la región

La peligrosidad sísmica de un lugar se cuantifica mediante la probabilidad de que se iguale o exceda un determinado valor del movimiento del suelo por causa de la sismicidad del área considerada y de regiones cercana. Ésta se puede expresar mediante diferentes parámetros. Aunque existen otros muchos, los más conocidos y utilizados son la intensidad macrosísmica (I), la aceleración pico del suelo (PGA) y la aceleración espectral (SA). Otros parámetros usados para caracterizar el movimiento del suelo son la velocidad y el desplazamiento del suelo, tanto en el dominio temporal (valores máximos) como en el frecuencial. Cuando se analiza el comportamiento sísmico de estructuras también suele caracterizarse la acción sísmica probable en términos de espectros de respuesta.

Cómo se ha dicho en la introducción en la introducción de este capítulo, el cálculo de la peligrosidad sísmica de Andorra se ha realizado en el marco del proyecto ISARD. Uno de los objetivos de este proyecto fue la realización de la unificación de la peligrosidad sísmica regional en la zona transfronteriza del Pirineo, así como la caracterización de sollicitaciones sísmicas realistas y coherentes para la realización de evaluaciones de riesgo y escenarios de daños. Ésta evaluación de la peligrosidad fue realizada por los equipos del Institut Geològic de Catalunya (IGC) actualmente IGC, del Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) y de Geoter internacional (Secanell *et al.*, 2008).

La unificación de la evaluación de la peligrosidad sísmica se ha realizado en una zona que comprende un territorio de 100 km. a ambos lados de la frontera franco-española, desde el Atlántico hasta el Mediterráneo, incluyendo Andorra. Así pues, la zona de evaluación es la comprendida entre las latitudes 40°N y 44°N y entre las longitudes 2.5° O y 4° E.

Se resume a continuación el cálculo de la peligrosidad sísmica en la zona. Las fases seguidas fueron:

Fase 1. Homogeneización de los catálogos sísmicos a ambos lados de la frontera.

Fase 2. Producción de modelos sismotectónicos.

Fase 3. Realización de los cálculos de la peligrosidad sísmica con un nuevo modelo de atenuación.

Este método de evaluación de la peligrosidad sísmica se basa en el uso conjunto de técnicas de árbol lógico y de Montecarlo, que permiten la propagación de las incertidumbres epistémicas y aleatorias. Las incertidumbres de carácter epistémico son aquellas debidas a la falta de conocimiento científico sobre la materia, las aleatorias son debidas a errores en los procesos de

catalogación y medida. El árbol lógico adoptado en ISARD tiene en consideración dos modelos conceptuales diferentes: uno zonificado (Cornell, 1968 y McGuire, 1976), asimilable a los grandes volúmenes corticales homogéneos, y uno no zonificado (Woo, 1996), que representa la ausencia de zonación y se basa en la explotación de las localizaciones hipocentrales.

Los resultados son mapas de peligrosidad sísmica, entendidos como la distribución geográfica de los niveles de movimiento del suelo con una determinada probabilidad de excedencia. Esta probabilidad suele también cuantificarse mediante períodos de retorno, los mapas correspondientes a los periodos de retorno de 475 y 1975 años son dos de los resultados relevantes del proyecto ISARD.

5.3.1 Homogeneización de las bases de datos sísmicos

En la primera fase se creó un nuevo catálogo homogéneo en términos de intensidad macrosísmica y de magnitud local a partir de los diferentes catálogos existentes en la región (Tabla 5.3). En la creación de este nuevo catálogo se consideraron datos históricos macrosísmicos y datos de la época instrumental. Para correlacionar y homogeneizar ambos tipos de datos se definió una relación entre la intensidad epicentral y la magnitud local a partir de sismos recientes de los que se dispone de información macrosísmica y de registros sísmicos. El resultado final es un catálogo unificado formado por el catálogo histórico y con los datos de sismicidad de la época instrumental (Figura 5.1). La sismicidad definida por el catálogo de la época instrumental muestran que la distribución geográfica de las zonas activas es bastante coherente con la que corresponde a los datos macrosísmicos históricos. A nivel local se observan algunas diferencias que indican o sismos recientes en regiones poco activas en el periodo histórico o al revés, una quietud sísmica durante el periodo reciente en zonas que han sufrido sismos en el pasado. El catálogo unificado creado fue la base para los cálculos de la peligrosidad sísmica.

Tabla 5.3. Catálogos macrosísmicos históricos y de la época instrumental existentes en la zona.

Catálogos Macrosísmicos	Catálogos instrumentales
Catálogo del Servei Geològic de Catalunya (SGC-ICC).	Catálogo del Servei Geològic de Catalunya (SGC-ICC).
Catálogo del Instituto Geográfico Nacional (IGN).	Catálogo de Instituto Geográfico Nacional (IGN).
Catálogo de SISFRANCE-BRGM-CEA-EDF (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)	Catálogo de LDG (Laboratoire de Détection Géophysique du CEA).
Catálogo de la revisión de los 140 sismos de Levret <i>et al.</i> (1996).	Catálogo de BCSF (Bureau Central Sismique de la France).
	Catálogo de OMP (Observatoire Midi Pyrénées).

5.3.2 Modelos sismotectónicos

En una segunda fase se consideraron dos zonaciones sismotectónicas con el objetivo de tener en cuenta las incertidumbres de interpretación sismotectónica y de los límites geográficos de las zonas. La primera pertenece a la zonación sismotectónica llamada unificada (Figura 5.3) que resulta de la síntesis de las siguientes zonaciones recientes:

- Las zonaciones para el Norte de España y el Suroeste de Francia se basan en los trabajos de Fleta *et al.* (1996); Secanell (1999); Secanell *et al.* (2003) y Secanell *et al.* (2004).
- Las zonaciones realizadas en el marco del grupo de trabajo de peligrosidad sísmica de la AFPS (*Association Française du génie Parasismique*) (Autran *et al.*, 1998) La zonación sísmica de Francia (Martín *et al.*, 2002).

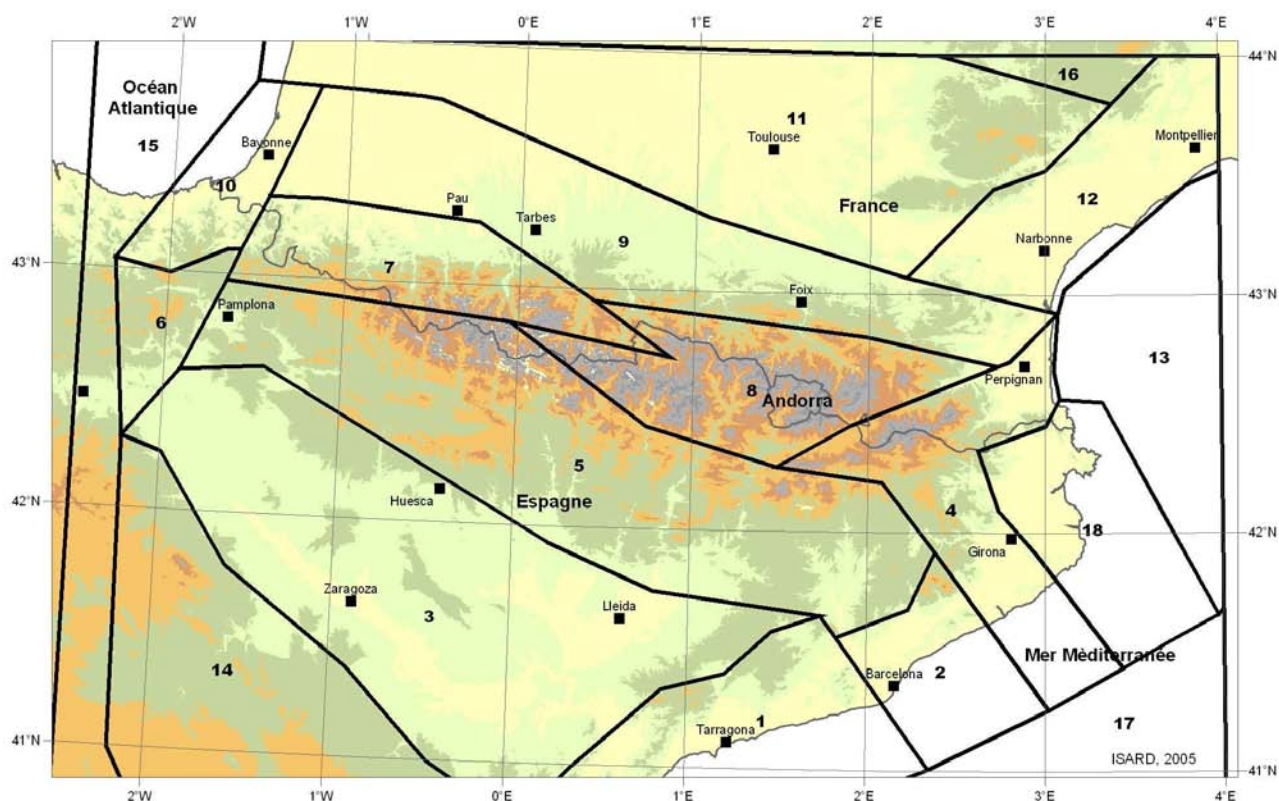


Figura 5.3. Zonación sismotectónica unificada. Extraído de ISARD. (<http://isard.brgm.fr>)

La segunda zonación sismotectónica utilizada corresponde básicamente a la zonación realizada por el BRGM para la aplicación del diseño antisísmico a ciertas instalaciones especiales en

Francia. (Blès *et al.*, 1998). Esta zonación ha sido ampliada hacia el sur para cubrir toda la región de estudio.

5.3.3 Modelo de atenuación

El modelo de atenuación es un parámetro importante en la evaluación de la peligrosidad sísmica ya que los niveles de peligrosidad pueden variar según la ley escogida. Para el cálculo probabilista de la peligrosidad sísmica en los Pirineos se han considerado la ley de atenuación propuesta por Tapia *et al.* (2007), que es propia de la zona de estudio, las de Ambraseys (1995) y la de Ambraseys *et al.* (1996) que han sido desarrolladas con datos de terremotos europeos.

5.3.4 Evaluación probabilista

La evaluación probabilista de la peligrosidad sísmica tiene por objetivo determinar los niveles de peligrosidad que corresponden a diferentes periodos de retorno. Como resultado de esta evaluación, dentro del proyecto ISARD, se presentaron los mapas probabilistas en términos de intensidad macrosísmica y de aceleraciones pico del suelo para los periodos de retorno de 475 años y 1975. En la Figura 5.4 se presentan los mapas probabilistas para los dos periodos de retorno en términos de intensidad macrosísmica, ya que son los mapas que se utilizarán para el análisis del riesgo. El mapa con periodo de retorno de 475 años asigna una peligrosidad de VII a todo el Principado de Andorra y el mapa con periodo de retorno de 1975 asigna una peligrosidad de VIII.

Otros datos referentes a la peligrosidad sísmica con los que se cuenta en la zona de estudio son los espectro de respuesta en términos de la aceleración espectral propuesto por Secanell *et al.* (2008).

5.3.5 Peligrosidad local

Generalmente los valores del movimiento del suelo utilizados se refieren a un suelo de tipo medio, pero, cambios en las condiciones del suelo o variaciones topográficas entre otros, pueden variar el valor de éste. Estas modificaciones locales del movimiento del suelo implican variaciones en los efectos que los terremotos producen sobre las edificaciones, las personas y las infraestructuras entre las que, en medios urbanos, destacan las instalaciones de gas y de agua.

Capítulo 5. Peligrosidad sísmica en el Principado de Andorra y escenarios sísmicos para la estimación del riesgo

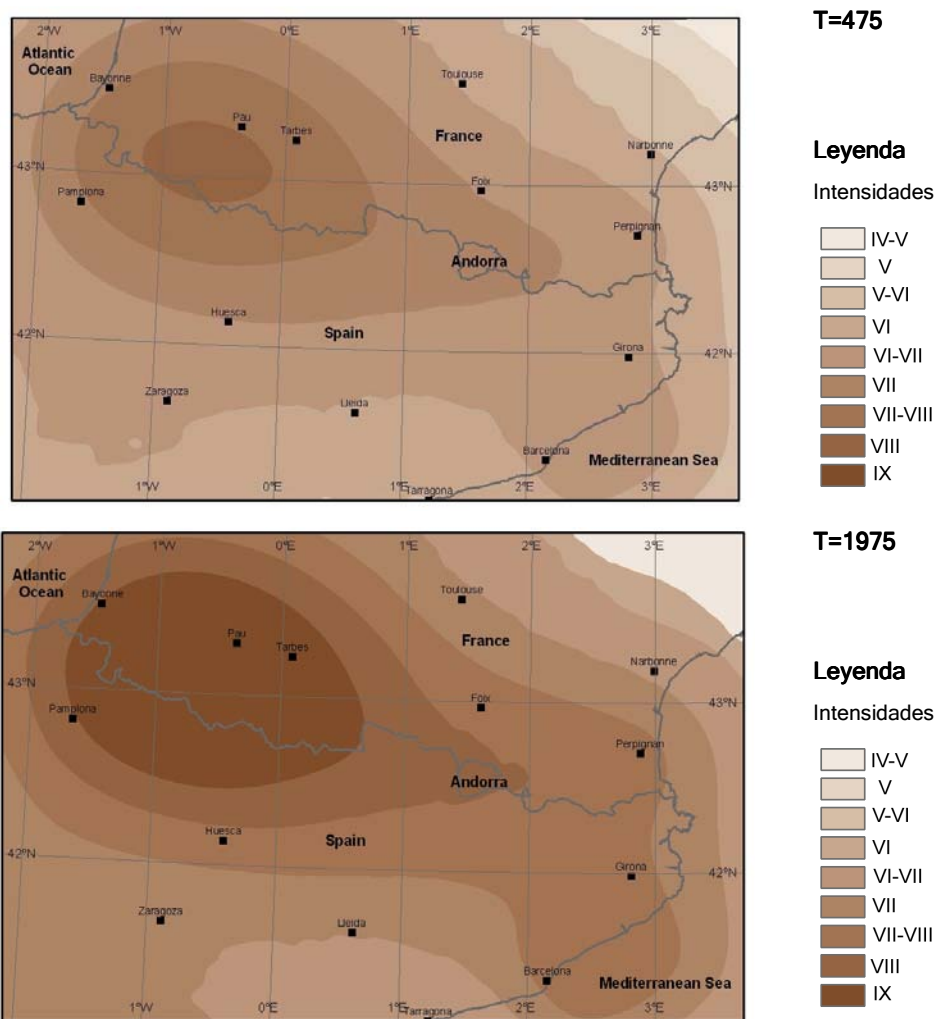


Figura 5.4. Mapas de peligrosidad sísmica para periodos de retorno de 475 y 1975 años respectivamente, en intensidades.

Extraído de ISARD (<http://www.isard-proect.eu>).

La microzonación sísmica consiste en la división de un lugar en pequeñas zonas en las que se prevé que la acción sísmica básica, entendida como aquella que incide en el basamento rocoso, experimentará modificaciones significativas por causa de las condiciones de suelo y topográficas específicas. Los mapas de microzonación sirven para planificar el desarrollo urbano, para orientar el diseño resistente a los terremotos de los edificios nuevos y para reforzar los edificios e instalaciones existentes de acuerdo con las reglamentaciones antisísmicas vigentes. Para calcular la contribución de los efectos de suelo a la peligrosidad sísmica a escala local en las regiones con sismicidad moderada se recurre a métodos simplificados empíricos y/o simulaciones numéricas.

En Andorra, hasta el momento, sólo se han realizado estudios de microzonación para la zona de la *cubeta de Andorra* (que comprende las parroquias de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany). Los resultados que presentamos en este trabajo proceden del proyecto ISARD, y forman parte de la tesis doctoral de Macau (2008). Este estudio, básicamente, constó de las tres fases siguientes:

1. Aplicación del método del cociente espectral (H/V) a partir de medidas de ruido sísmico con la determinación de la frecuencia fundamental.
2. Aplicación del método numérico 1-D lineal equivalente. A partir de la información geológica y geotécnica disponible en la zona (Crecit, 2001), de otra información geofísica (Teixidó *et al.*, 2003), y de la información proporcionada de los análisis de ondas superficiales (Bitri *et al.*, 2004) se definen las columnas del suelo representativas para calcular las funciones de transferencia y espectros de respuesta del suelo.
3. Realización de la microzonación sísmica de la cubeta.

En la Figura 5.5 se presenta el mapa de microzonación sísmica propuesto por Macau (2008) para la *cubeta de Andorra*. En él se diferencian cinco zonas:

- Zona 1: Sin amplificación. Corresponde a la zona situada al pie de la ladera que cierra la cubeta por el Oeste.
- Zona 2: Incremento en intensidad de 0.5. Sector situado en el centro de la cubeta, en la población de Andorra la Vella.
- Zonas 3 y 4: Incremento de 1.0. Amplia zona que se extiende de Sur a Norte en la mayor parte del centro de la cubeta.
- Zona 5: Incremento de 1.5. Zona situada en el extremo Sur de la cubeta y al pie de la ladera que cierra la cubeta por el Este.

Los puntos que no se encuentran dentro de alguna de las cinco zonas se consideraran emplazamientos en roca, y se les asociará la intensidad básica.

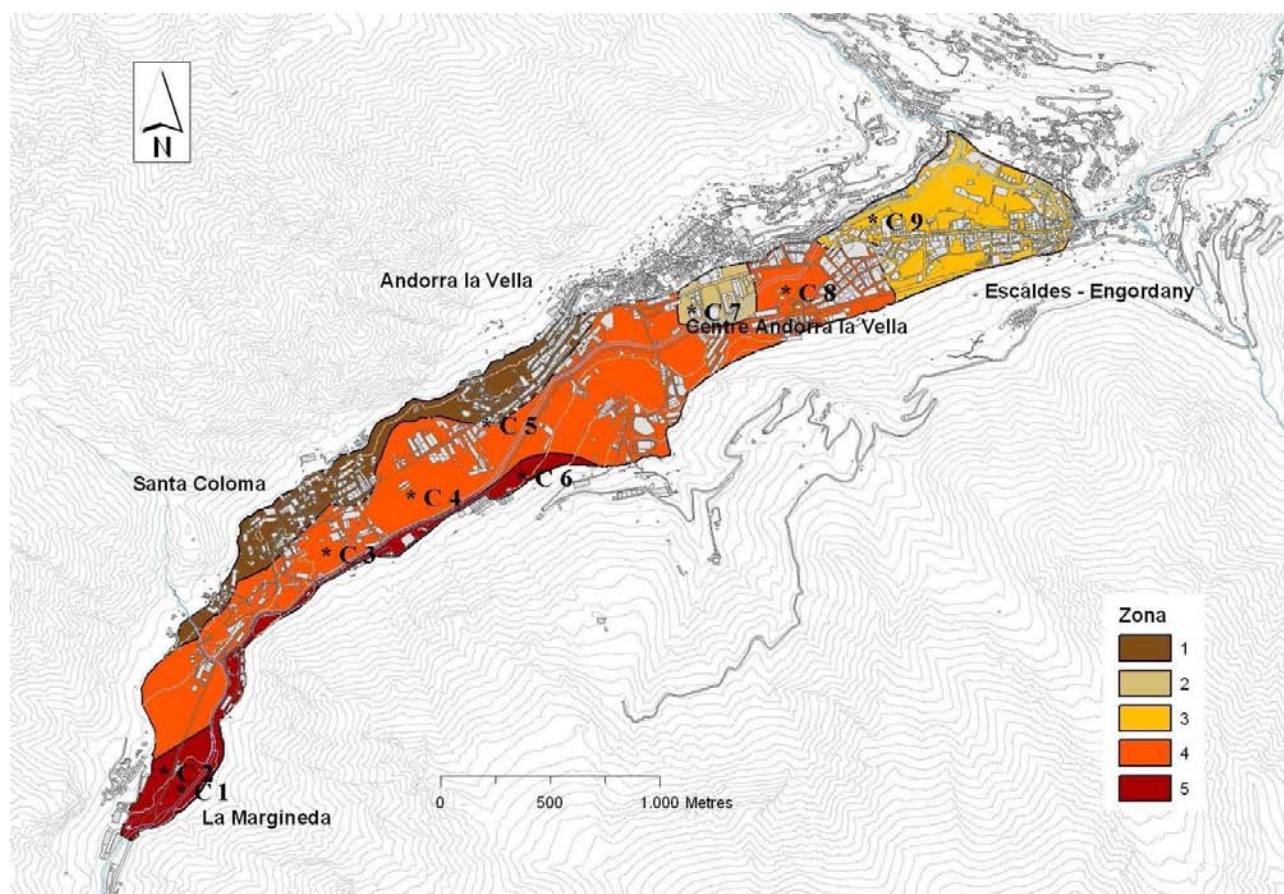


Figura 5.5. Zonación de la cubeta de Andorra la Vella en función de la amplificación del suelo en términos de intensidad (Macau et al., 2006).

5.4 Escenarios sísmicos

5.4.1 Escenarios básicos: consideración de un suelo tipo medio

Los escenarios sísmicos se han convertido en herramientas básicas para dimensionar el impacto probable de los terremotos en una ciudad o región y nos informan de la aceleración o la intensidad esperada en roca o en el basamento rocoso en cada punto del territorio para un determinado período de retorno. La consideración de la microzonación sísmica adoptada permite evaluar la acción sísmica en todos y cada uno de los puntos del territorio considerado. Las técnicas actuales de análisis de riesgo recomiendan el análisis de dos tipos de escenarios los probabilistas y los deterministas. Los probabilistas suelen definirse a partir de la probabilidad de ocurrencia o, equivalentemente, a partir del periodo de recurrencia. Los deterministas suelen reproducir un sismo histórico en la zona de estudio. Para Andorra se han considerado tres escenarios sísmicos:

dos probabilistas (con períodos de retorno de 475 y 1975 años) y uno determinista, definido por el terremoto de 1428. Los escenarios que presentamos en este estudio vienen expresados en términos de intensidades, las cuales se modifican de acuerdo a los efectos de suelo correspondientes a la microzonación sísmica adoptada.

5.4.1.1 Escenarios probabilistas (T=475 años y T=1975 años)

En las Figuras 5.6 y 5.7 se muestran los mapas de peligrosidad para un período de retorno de 475 años y 1975 años respectivamente en términos de intensidades para un suelo de tipo medio.

El escenario probabilista para un periodo de retorno de 475 años asigna a todo el Principado una intensidad de VII para un suelo de tipo medio y el escenario con periodo de retorno de 1975 años asigna una intensidad de VIII a todo el Principado para un suelo tipo medio.

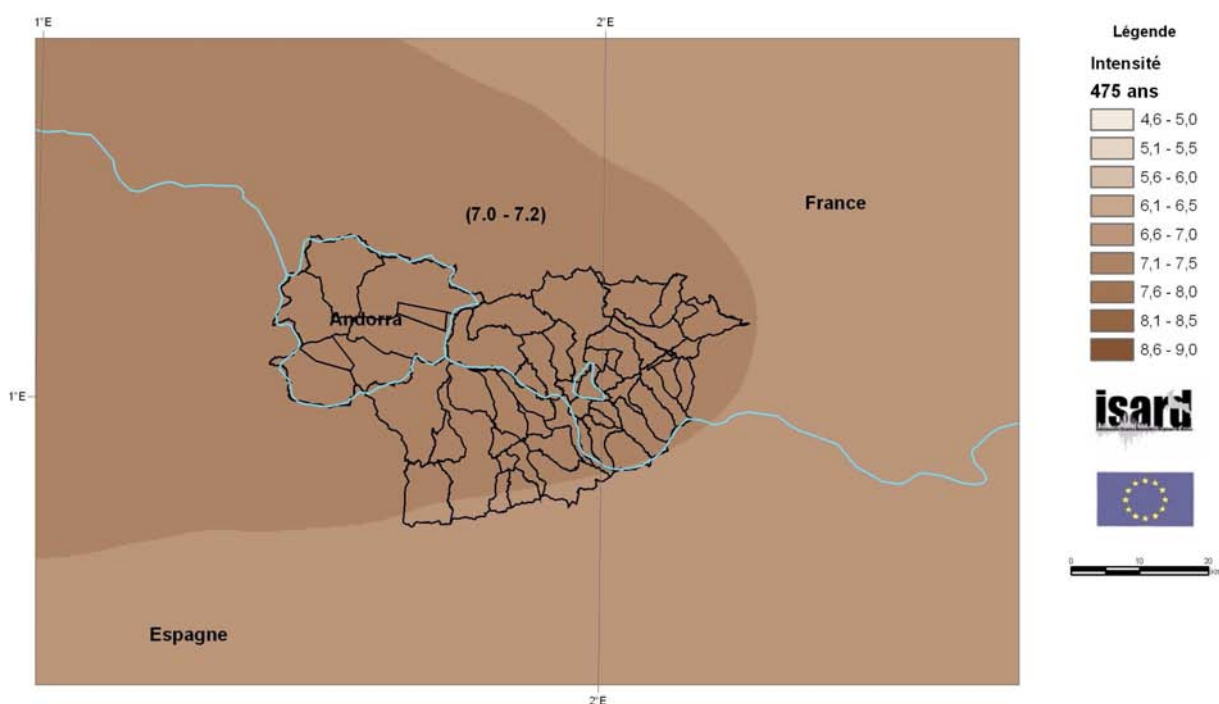


Figura 5.6. Mapa de peligrosidad sísmica para un periodo de retorno de 475 años, en intensidades. Extraído de ISARD (<http://www.isard-proect.eu>).

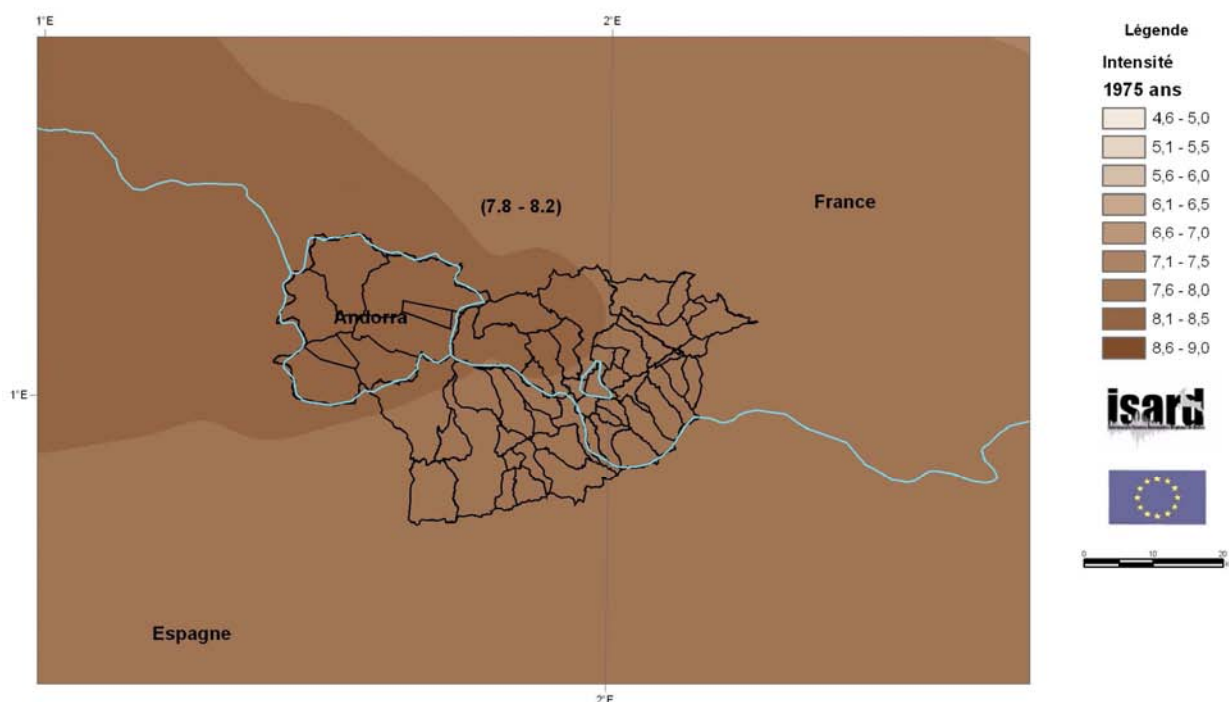


Figura 5.7. Mapa de peligrosidad sísmica para un periodo de retorno de 1975 años, en intensidades. Extraído de ISARD (<http://www.isard-proect.eu>).

5.4.1.2 Escenario determinista

El escenario determinista, en términos de intensidad, está basado en el terremoto ocurrido el 2 de Febrero de 1428 en el *Ripollès (Girona)*. Para realizar este escenario se han considerado los parámetros focales de magnitud $M_w=6.5$ y una intensidad epicentral de IX grados. En la Figura 5.8 se muestran las intensidades observadas en España y Francia y se hace una ampliación de la zona epicentral para mostrarla con más detalle (Olivera *et al.*, 2006).

Para simular las intensidades probablemente percibidas en cada uno de los municipios de la región se ha usado la ley de atenuación de Sponheuer (1960):

$$I_0 - I = K * \text{Log} \left(\sqrt{\frac{x^2 + h^2}{h}} \right)^b + K\gamma \text{Loge}(\sqrt{(X^2 + h^2)} - h) \quad (5.1)$$

Donde:

- K es el factor que relaciona la intensidad y el logaritmo de la aceleración pico del terremoto,
- γ es el coeficiente de atenuación inelástica y b es el coeficiente de extensión geométrica,
- h es la profundidad del terremoto y I_0 es la intensidad epicentral.

Capítulo 5. Peligrosidad sísmica en el Principado de Andorra y escenarios sísmicos para la estimación del riesgo

Con una intensidad epicentral de IX, y una profundidad de 8 kilómetros se obtienen las intensidades simuladas de la Figura 5.9, 5.10. Así, el escenario determinista asigna a todo el Principado una intensidad VI-VII.

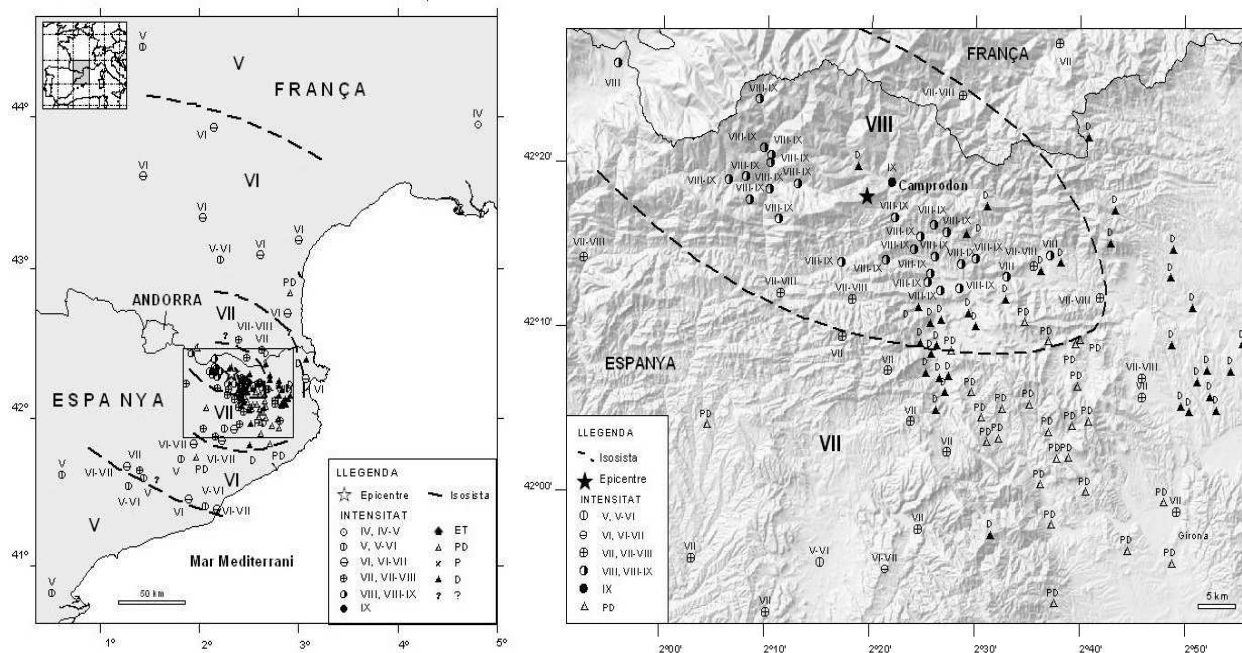


Figura 5.8. Intensidades observadas y epicentro del 2 de febrero de 1428 de Olivera et al, 2006.

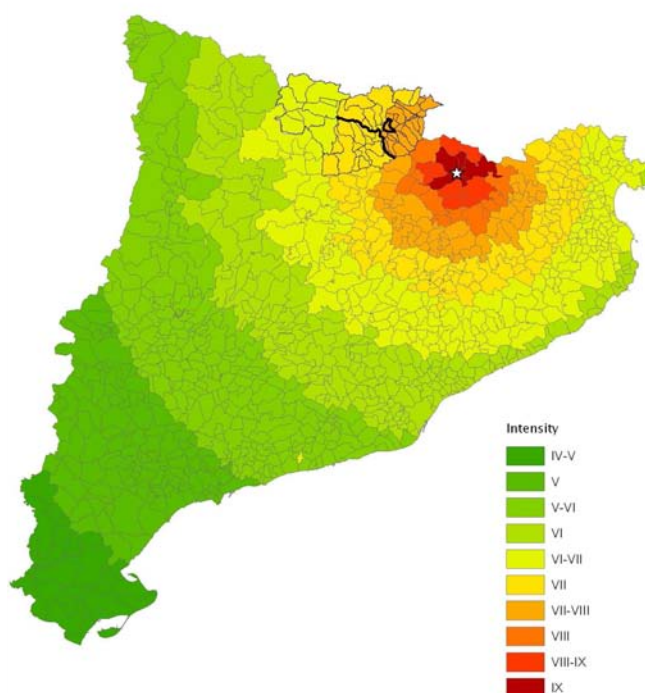


Figura 5.9. Mapa de intensidades simuladas de un terremoto compatible con el del 2 de febrero de 1428.



Figura 5.10. Detalle del mapa de intensidades simuladas de un terremoto compatible con el del 2 de febrero de 1428.

5.4.2 Escenarios zonificados: consideración de efectos de suelo

5.4.2.1 Escenarios probabilistas (T=475 años y T= 1975 años)

Como se ha visto en el apartado anterior, el escenario probabilista para un periodo de retorno de 475 años asigna a todo el Principado una intensidad MSK básica de VII. En la Figura 5.10 se muestra este escenario teniendo en cuenta la microzonación sísmica. Los valores de intensidad varían entre VII y VIII-IX grados para este periodo de retorno. En la mayor parte de la cubeta, que incluye los dos núcleos más importantes de población del país, esto es, Andorra la Vella y Escaldes-Engordany, el valor de intensidad macrosísmica es de VIII grados. Los valores más altos de intensidad (VIII - IX) se encuentran en el extremo sur de la cubeta, en la zona de la Margineda.

El escenario probabilista para un periodo de retorno de 1975 años asigna a todo el Principado una intensidad MSK básica de VIII. Así los valores de intensidad para este escenario varían entre VIII y IX-X grados. En este caso a la mayor parte de la cubeta se le asigna un valor de intensidad MSK de IX grados. La zona de la Margineda es la que tienen los valores de intensidad más altos (IX-X).

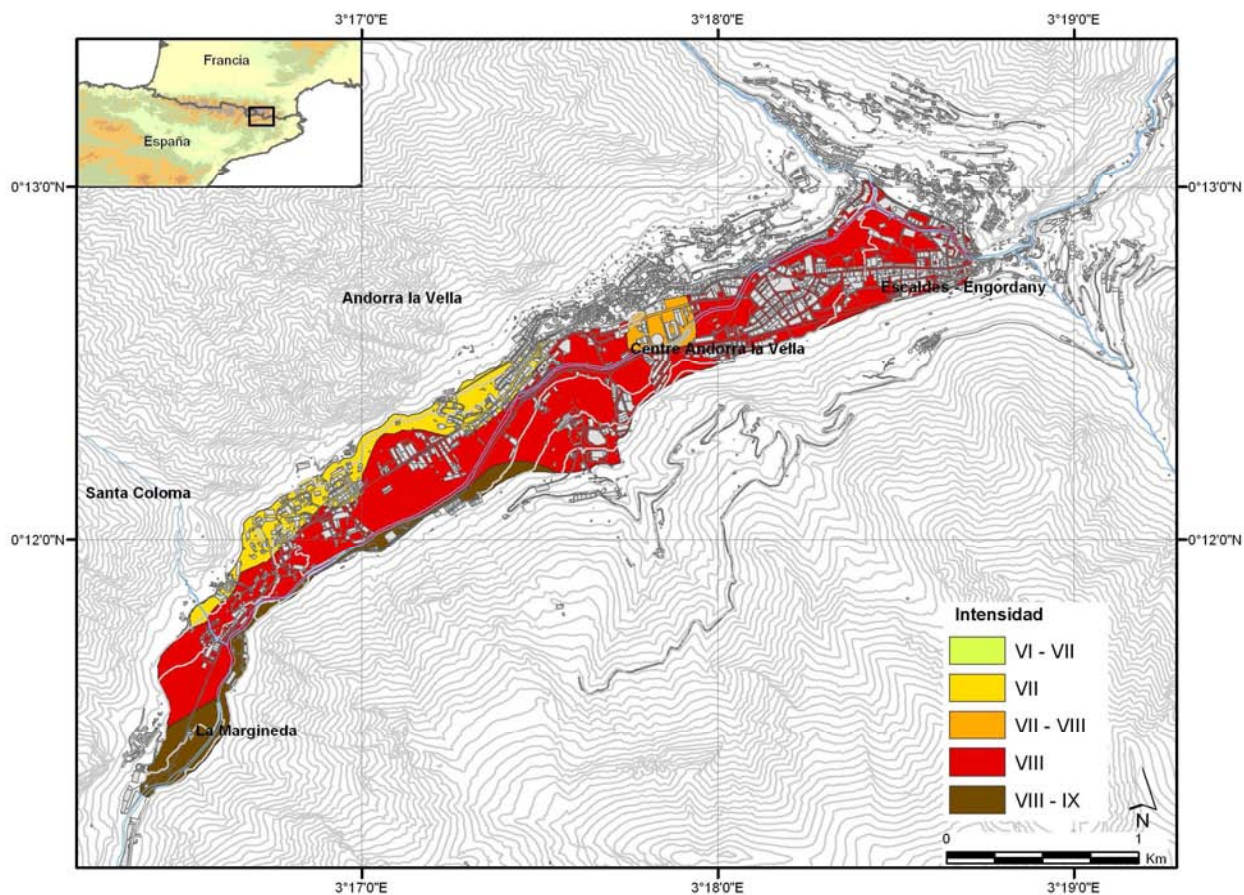


Figura 5.11. Mapa de peligrosidad local de la cubeta de Andorra la Vella en función de la intensidad macrosísmica esperada para $T = 475$ años (Macau et al., 2007).

5.4.2.2 Escenario determinista

El escenario determinista se realizó teniendo en cuenta el escenario presentado en el apartado 5.4.1.2 y el mapa de microzonación sísmica. Los valores de intensidad varían entre VI-VII y VIII grados en la escala MSK (Figura 5.12).

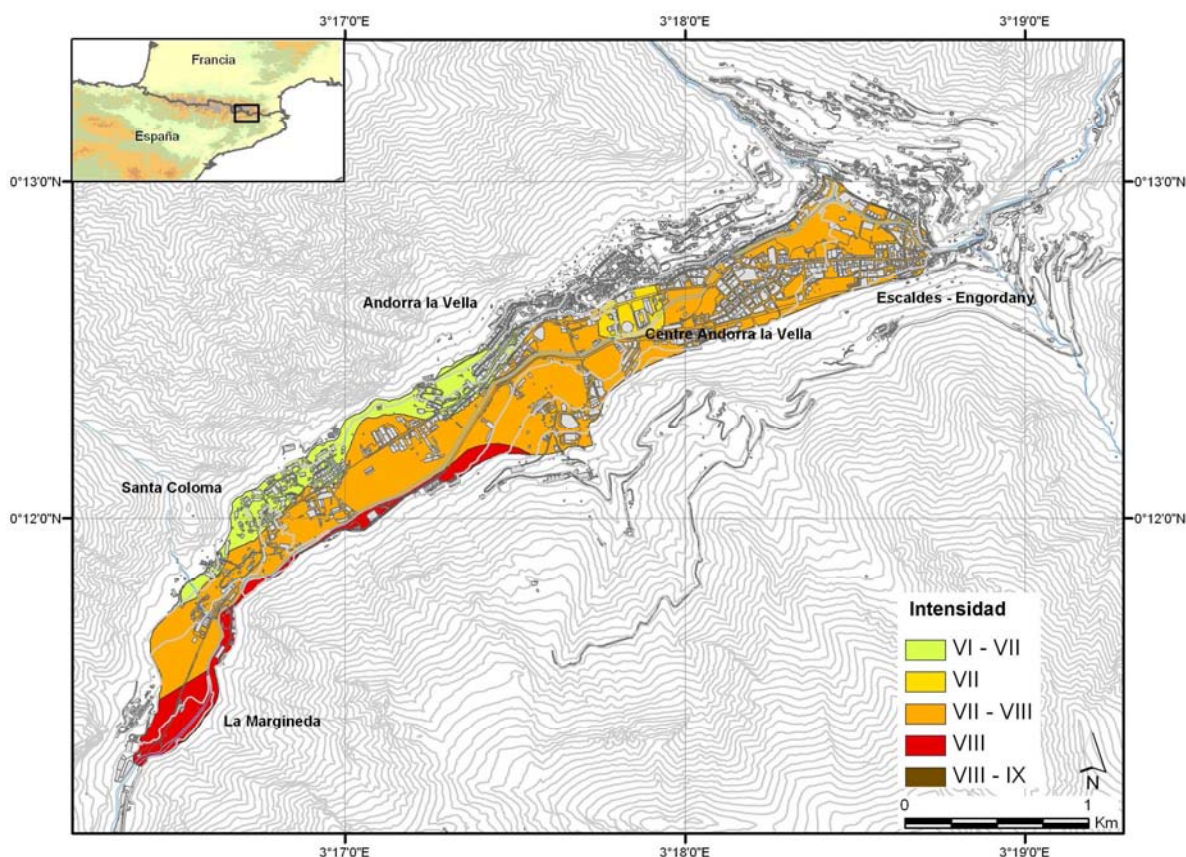


Figura 5.12. Zonación de la cubeta de Andorra la Vella en función de la intensidad macrosísmica probablemente percibida en el sismo de 2 de Febrero de 1428 considerando los efectos locales (Macau et al., 2007).

5.5 Resumen

El Principado de Andorra, situado en los Pirineos Orientales, muestra una sismicidad entre baja y moderada. La serie sísmica más importante que se ha registrado durante el periodo instrumental que cubre casi la totalidad del siglo XX ha sido la de la crisis sísmica de 1970 (Susagna y Goula, 1999), que duró del 13 al 18 de marzo de 1970, con intensidades máximas de V-VI para los sismos del 14 de marzo a las 15:48 y del 16 de marzo a las 6:29 (T.U).

En este capítulo, para el Principado de Andorra, se han definido tres escenarios sísmicos teniendo en consideración un suelo de tipo medio y tres, para la *cubeta de Andorra la Vella*, teniendo en consideración los efectos de suelo. Todos los escenarios se han definido en términos de intensidad.

Los tres escenarios básicos que se han definido para todo el país son: dos probabilistas con periodos de retorno de 475 años y de 1975 años y uno determinista, similar al ocurrido el 2 de febrero de 1428 en el *Ripollès (Girona)*. Estos escenarios asignan para todo el país intensidades de VII, VIII y VI-VII respectivamente (Tabla 5.4).

Tabla 5.4. Escenarios sísmicos para el principado, valores en intensidades.

Escenarios	Periodo de retorno	Intensidad
Probabilista	475 años	VII
	1975 años	VIII
Determinista		VI-VII (Terremoto equivalente al de 1428)

Los escenarios zonificados sólo se han definido para la zona de la *cupeta de Andorra*, ya que es la única zona del país de la que se dispone de un mapa de microzonación (Figura 5.5). Los escenarios definidos también corresponden a dos escenarios probabilistas con periodos de retorno de 475 años y de 1975 años y uno determinista, similar al ocurrido el 2 de febrero de 1428 en el *Ripollès (Girona)*, en ellos se ha tenido en consideración los efectos de suelo. La Tabla 5.5 resume los valores de los escenarios deterministas y probabilistas que se utilizarán para el cálculo del riesgo sísmico de la cupeta de Andorra.

Tabla 5.5. Escenarios para la cupeta de Andorra, teniendo en cuenta los efectos de suelo.

Escenarios	Valor de referencia	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Probabilista (T=475 años)	VII	VII	VII-VIII	VIII	VIII	VIII-IX
Probabilista (T=1975 años)	VIII	VIII	VIII-IX	IX	IX	IX-X
<i>Determinista (Similar al de 1428)</i>	VI-VII	VI-VII	VII	VII-VIII	VII-VIII	VIII

Capítulo 5. Peligrosidad sísmica en el Principado de Andorra y escenarios sísmicos para la estimación del riesgo

6 Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de vivienda del Principado de Andorra

6.1 Introducción

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica se ha llevado a cabo usando dos metodologías basadas en la escala macrosísmica EMS'98. La primera clasifica los edificios en clases de vulnerabilidad; la segunda cuantifica la vulnerabilidad mediante un índice. Ambas metodologías han permitido, por primera vez, tener un primer conocimiento de la vulnerabilidad de los edificios de vivienda del Principado de Andorra y llevar a cabo estimaciones estadísticas sobre el comportamiento de los edificios cuando éstos sufren un movimiento sísmico. El análisis de la vulnerabilidad del conjunto de edificios de vivienda del Principado constituye el primer paso para la estimación del riesgo sísmico de éste país. Este estudio permite identificar las parroquias y zonas del Principado con edificios más vulnerables, proporcionando información de gran utilidad para diseñar planes de emergencia o para prevenir el daño sísmico en el país.

En este capítulo se describen los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad obtenidos mediante la aplicación de las dos metodologías utilizadas en el estudio, detalladas anteriormente en el Capítulo 3. Estos resultados se presentan para cada una de las unidades de estudio, y, finalmente se hace una comparación de los resultados obtenidos en cada una de ellas, cuando se usan clases de vulnerabilidad y cuando se usan índices.

6.2 Clasificación de las edificaciones en clases de vulnerabilidad sísmica

La clasificación de los edificios en clases de vulnerabilidad de acuerdo con la escala EMS'98 ha permitido tener una visión global del conjunto de los edificios del Principado de Andorra. Como información de partida se ha construido una base de datos (Capítulo 4) que contiene los parámetros necesarios: edad de los edificios, altura y localización. En la Tabla 6.1 se muestra cómo se han clasificado los edificios de vivienda para la obtención de su distribución en clases de vulnerabilidad, en función del año de construcción, del número de plantas y de su localización en zona rural o urbana. Se consideran las clases de vulnerabilidad A, B, C, D y E definidas en la escala EMS'98 tal como se han descrito en el Capítulo 3. En la zona de estudio no se han hallado edificios de clase E.

Tabla 6.1. Clasificación de los edificios de vivienda en clases de vulnerabilidad de acuerdo con la escala EMS'98 (Chávez et al. , 1998; modificada para el estudio).

	< 1949		1949-1972		> 1972	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
< 4 plantas	20% A + 80% B	30% A +70% B	5 % A + 50% B + 45% C	15 %A +70%B + 15% C	85% C +15% D	5% A + 20% B +65% C+10% D
= 4-5 plantas	20% A + 80% B	40% A + 60% B	10% A + 60% B+ 30% C	20% A + 70% B + 10% C	5% A + 20% B + 65% C + 10% D	10% A +5% D +30% +55% C
> 5 plantas	40% A + 60% B	60% A + 40% B	15 % A + 70% B + 15% C	30% A + 65% B + 5% C	8% A + 27% B + 60% C + 5% D	15% A + 45% B + 40% C

6.2.1 Distribución de las clases de vulnerabilidad por parroquias

Para cada una de las parroquias se han clasificado los edificios según la distribución presentada en la Tabla 6.1. En la Figura 6.1 y Tabla 5.1 (del Anexo 5) se muestra cómo se distribuyen las clases de vulnerabilidad para cada una las parroquias y polígonos del Principado. En ella también se presentan los resultados obtenidos de la metodología de índices de vulnerabilidad para facilitar su comparación y se han calculado las vulnerabilidades medias de cada unidad en base a ambas metodologías. Para ello se han asignado a las clases de vulnerabilidad A, B, C y D los valores 1, 2, 3 y 4 respectivamente. De la misma forma se han asignado estos valores a los intervalos de índices de vulnerabilidad.

En general, para todo el país, se puede decir que el conjunto de los edificios de vivienda está representado por las clases de vulnerabilidad B y C y que las clases de vulnerabilidad A y D representan los porcentajes más bajos, siempre cercanos o inferiores o iguales a un 10%. Las parroquias con edificios más vulnerables son *Escaldes-Engordany*, *Canillo* y *Andorra la Vella* con un 11, 10 y 9% de edificios con clase de vulnerabilidad A respectivamente. Las parroquias que en proporción tienen edificios menos vulnerables son *la Massana* con un 8% de edificios con clase de vulnerabilidad D y, *Ordino* y *Sant Julià de Lòria* con un 7%. En las Figuras A5.1, A5.2, A5.3 y A5.4 del Anexo 5 se muestran las distribuciones, en porcentajes, las clases de vulnerabilidad A, B, C y D respectivamente, para las siete parroquias del Principado. La distribución de la clase de vulnerabilidad A (Figura A5.1, Anexo 5) muestra que el máximo porcentaje alcanzado para esta clase de vulnerabilidad es del 11% para la parroquia de *Escaldes-Engordany*. El rango predominante en todo el Principado para esta clase oscila entre el 7 y el 11%. En la Figura A5.2 (del Anexo 5) se muestra la distribución de la clase de vulnerabilidad B.

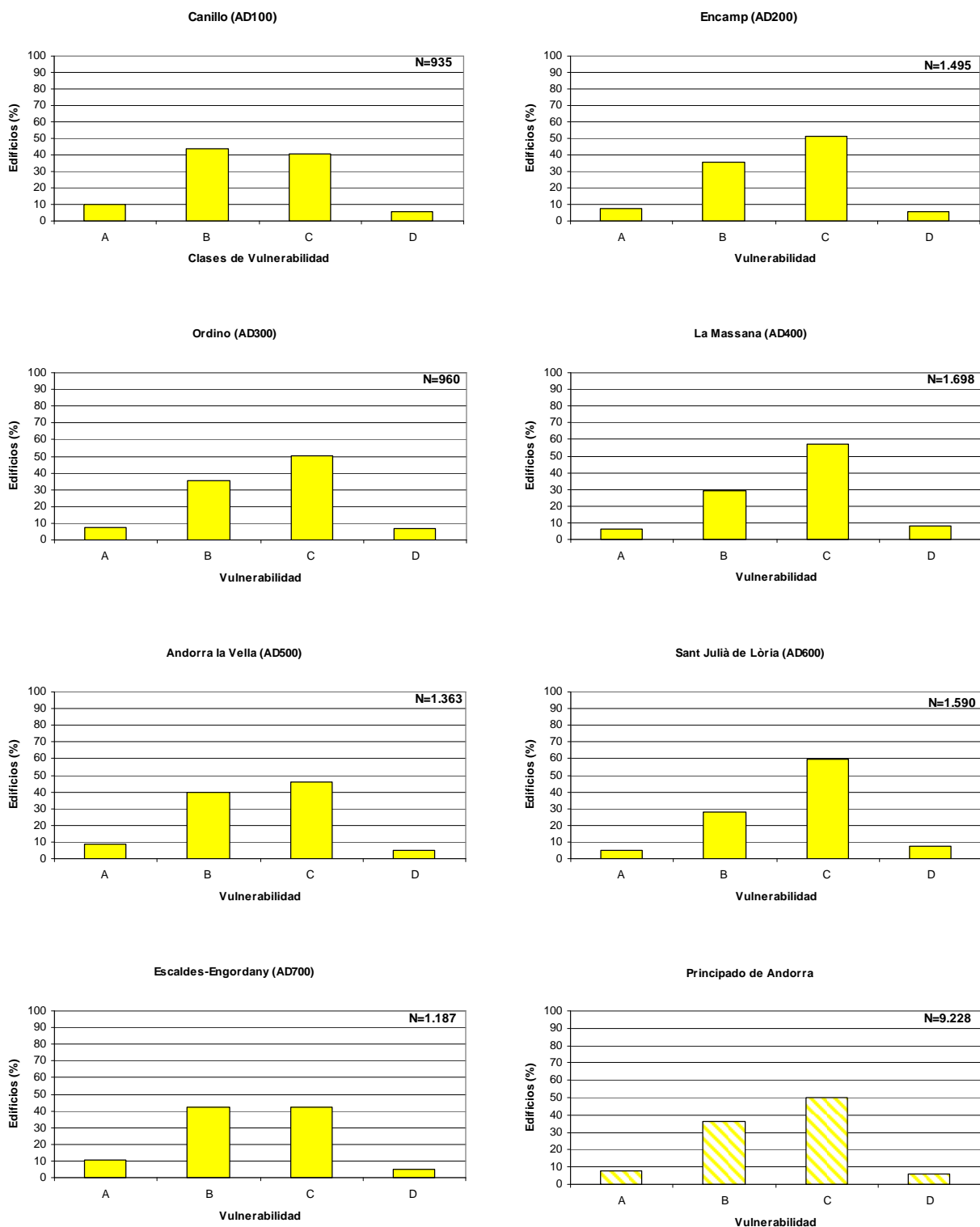


Figura 6.1. Distribución de las clases de vulnerabilidad de los edificios de vivienda del Principado de Andorra por parroquias. N es el valor del número de edificios por parroquia que se ha tenido en cuenta en el estudio.

Se puede observar que el máximo porcentaje alcanzado por esta clase es del 44% para la parroquia de *Canillo*. También se puede observar que es una de las clases predominantes en la parroquia junto con la clase C, con porcentajes que oscilan entre el 30 y el 40%. La parroquia con un mayor porcentaje de edificios de clase de vulnerabilidad C es *Sant Julià de Lòria*, con un 60% (Figura A5.3 del Anexo 5). Los valores de la clase C varían entre el 40 y 60% para todas las parroquias. Finalmente la Figura A5.4 (del Anexo 5) muestra la distribución de la clase de vulnerabilidad D, la menos predominante en el Principado.

Para clasificar de forma cualitativa la vulnerabilidad de las parroquias se han usado las 6 condiciones propuestas por Chávez (1998) que se presentan en la Tabla 6.2. Dicho trabajo se basa en los diferentes porcentajes de las clases de vulnerabilidad A, B, C y D presentes en cada una de las unidades de estudio y considera tres categorías de vulnerabilidad: alta, media y baja. Según estas condiciones una parroquia tiene vulnerabilidad alta si cumple la condición 1, vulnerabilidad media si cumple cualquiera de las condiciones 2, 3 o 4, y vulnerabilidad baja si cumple las condiciones 5 o 6.

Tabla 6.2. Condiciones consideradas para la clasificación de los municipios como vulnerabilidad alta, media o baja, en función de los porcentajes de las diferentes clases de vulnerabilidad, extraído de Chávez (1998).

Vulnerabilidad	Condición	Descripción
Alta	1	$PA \geq 25 + PB \geq 50 + (PC+PD) < 25$
Media	2	$PA < 25 + PB \geq 50 + (PC+PD) < 25$
	3	$PA < 25 + PB \geq 50 + (PC+PD) \geq 25$
	4	$PA < 25 + 25 \leq PB < 50 + (PC+PD) < 50$
Baja	5	$PA < 25 + PB < 25 + (PC+PD) \geq 50$
	6	$PA \leq 25 + PB \geq 25 + (PC+PD) \geq 50$

En la Figura 6.2 se presenta el resultado de la aplicación de estas condiciones que aportan los siguientes resultados: tres de las siete parroquias presentan vulnerabilidad media: *Andorra la Vella*, *Escaldes-Engordany* y *Canillo*, y cuatro presentan vulnerabilidad baja: *Encamp*, *la Massana*, *Ordino* y *Sant Julià de Lòria*. Ninguna de las parroquias presenta vulnerabilidad alta.

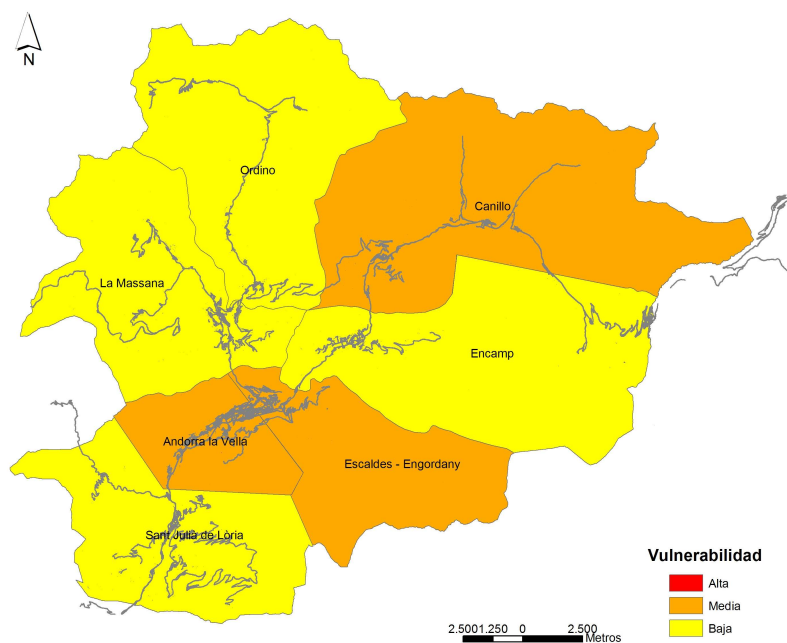


Figura 6.2. Clasificación de la vulnerabilidad del Principado de Andorra en función del porcentaje de clases de vulnerabilidad A, B, C y D, según la tabla 6.2.

6.2.2 Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígono

Como se ha comentado al principio del capítulo, con el objetivo de comparar las dos metodologías que se aplican en la evaluación de la vulnerabilidad de los edificios de vivienda del Principado se ha realizado la distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos, unidad mínima de estudio para la aplicación de la metodología de índices de vulnerabilidad. En la Tabla 5.1 y Figuras de la A5.5 a la A5.11 del Anexo 5 se presentan para cada uno de los polígonos, todas las gráficas de este análisis. En ellas, además de la distribución de las clases de vulnerabilidad A, B, C y D también se presenta el número total de edificios por polígono (valor N), y la distribución general de la parroquia donde se encuentra (en azul). Así se puede observar si la distribución del polígono sigue la misma distribución que la de la parroquia.

De la observación de las gráficas del Anexo 5 se extraen las siguientes conclusiones:

- Para la parroquia de *Canillo*, de los cuatro polígonos en los que se ha dividido la parroquia tres de ellos (AD1001, AD1002 y AD1004) tienden a la distribución general y el cuarto (AD1003) es un poco menos vulnerable.
- Para la parroquia de *Encamp* los dos polígonos (AD2001 y AD2002) tienen la misma distribución general que la parroquia.

- Tres de los cuatro polígonos de la parroquia de *Ordino* (AD3001, AD3002 y AD3003) tienen la misma distribución general de la parroquia y el cuarto (AD3004) presenta una vulnerabilidad un poco más elevada.
- Para la parroquia de *la Massana*, de los cinco polígonos, el polígono AD4002 es el único que se aleja un poco de la distribución general de la parroquia, por una parte aumentando el porcentaje de edificios de la clase A y por otra disminuyendo el porcentaje de la clase D.
- Para la parroquia *de Andorra la Vella*, de los cuatro polígonos sólo uno, el AD5004, no representa la misma distribución que el total de la parroquia, tiene un porcentaje inferior de edificios de la clase A, ya que no tiene un porcentaje muy pequeño de edificios antiguos; los otros tres (AD5001, AD5002 y AD5003) tienen la misma distribución.
- Para la parroquia de *Sant Julià de Lòria*: sólo el polígono AD6005 no sigue la misma tendencia, presenta porcentajes más elevados de la clase B.
- Por último, para la parroquia de *Escaldes-Engordany*: sólo uno de los dos polígonos, el AD7001, tiene una distribución similar a la distribución de la parroquia, el otro (AD7002) es menos vulnerable, ya que en él aumentan los edificios con clases de vulnerabilidad C y D.

En la Figura 6.3 se presenta el polígono más vulnerable y el menos vulnerable. El más vulnerable corresponde al polígono de Escaldes-Centro (AD7001) situado en la Parroquia de Escaldes-Engordany; el polígono menos vulnerable corresponde al polígono de *Aixirivall* (A6003) perteneciente a la parroquia de *Sant Julià de Lòria*. Estas diferencias se atribuyen por una parte, a que los polígonos que contienen los edificios más antiguos tienen mayores porcentajes de edificios de clases más vulnerables y, por otra, a que los polígonos que contienen edificios más recientes tienen más predominio de las clases menos vulnerables.

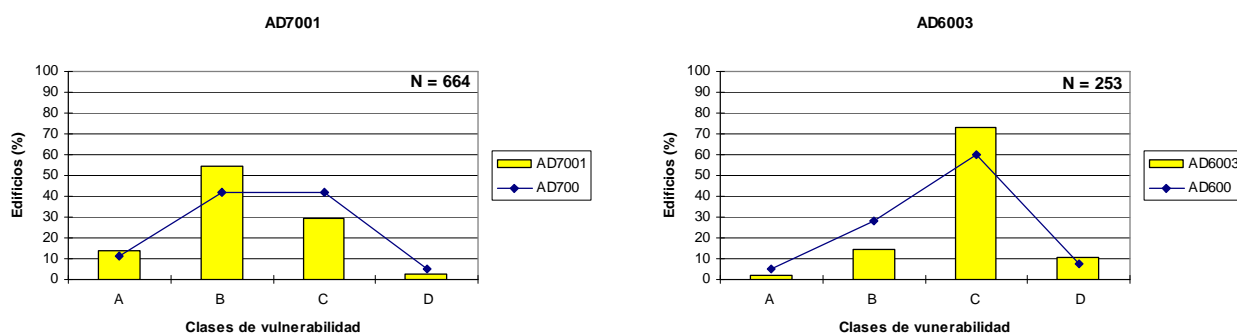


Figura 6.3. A la izquierda el polígono más vulnerable (AD700), a la derecha el menos vulnerable (AD6003). En barras la distribución para el polígono y con una línea la tendencia general de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para dicho polígono.

En la Figura A5.12 del Anexo 5 se presenta un esquema de cómo se van a representar los resultados para la unidad más pequeña de estudio, los polígonos, para facilitar su lectura. Los resultados se muestran mediante cuatro ventanas, las dos ventanas de la parte superior corresponden a las parroquias de *la Massana* y *Ordino*, a la izquierda, y a las parroquias de *Canillo* y *Encamp a la derecha*. Las dos ventanas de abajo corresponden a las de *Sant Julià de Lòria* a la izquierda y de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* a la derecha.

La Tabla 5.1 y las Figuras A5.12, A5.13, A5.14 y A5.15 del Anexo 5 muestran los valores y los mapas con las distribuciones de las clases de vulnerabilidad A, B, C y D respectivamente, para los veintiséis polígonos del Principado, en cada uno de ellos también se muestra el número total de edificios (N) del polígono.

La vulnerabilidad de los polígonos también se ha clasificado usando las condiciones propuestas en la Tabla 6.2. Los resultados se presentan en la Figura 6.4. Si comparamos este resultado con la tendencia de la parroquia se deduce que: para la parroquia de *Canillo*, el polígono AD1003 presenta una vulnerabilidad baja cuando la tendencia de la parroquia es a tener una vulnerabilidad media. Los polígonos de la parroquia de *Encamp* presentan vulnerabilidad media, igual que la parroquia. Los polígonos de la parroquia de *Ordino* presentan la misma vulnerabilidad que la parroquia, vulnerabilidad baja. En la parroquia de *la Massana*, todos los polígonos excepto el AD4002, que la tiene media, tienen vulnerabilidad baja. En la parroquia de *Andorra la Vella* todos los polígonos tienen vulnerabilidad baja a excepción del polígono AD5002 que la tiene media, la vulnerabilidad general de esta parroquia es media. Todos los polígonos de la parroquia de *Sant Julià de Lòria* tienen vulnerabilidad baja excepto AD6005 que la tiene media, la vulnerabilidad general de la parroquia es baja. Por último la parroquia de *Escaldes-Engordany* presenta para uno de sus polígonos vulnerabilidad baja, cuando la tendencia de la parroquia es vulnerabilidad media.

6.3 Clasificación de las edificaciones en índices de vulnerabilidad

La aplicación del método del índice de vulnerabilidad requiere de un conocimiento exhaustivo de las tipologías estructurales de los edificios de vivienda de la zona donde se vaya a aplicar, con el objetivo de poderles asignar diferentes índices de vulnerabilidad. En este estudio los datos referentes a las tipologías estructurales, al no existir en las bases de datos de edificación, se recogieron a partir de campañas de campo y de reuniones con los arquitectos de la zona (véase Capítulo 4).

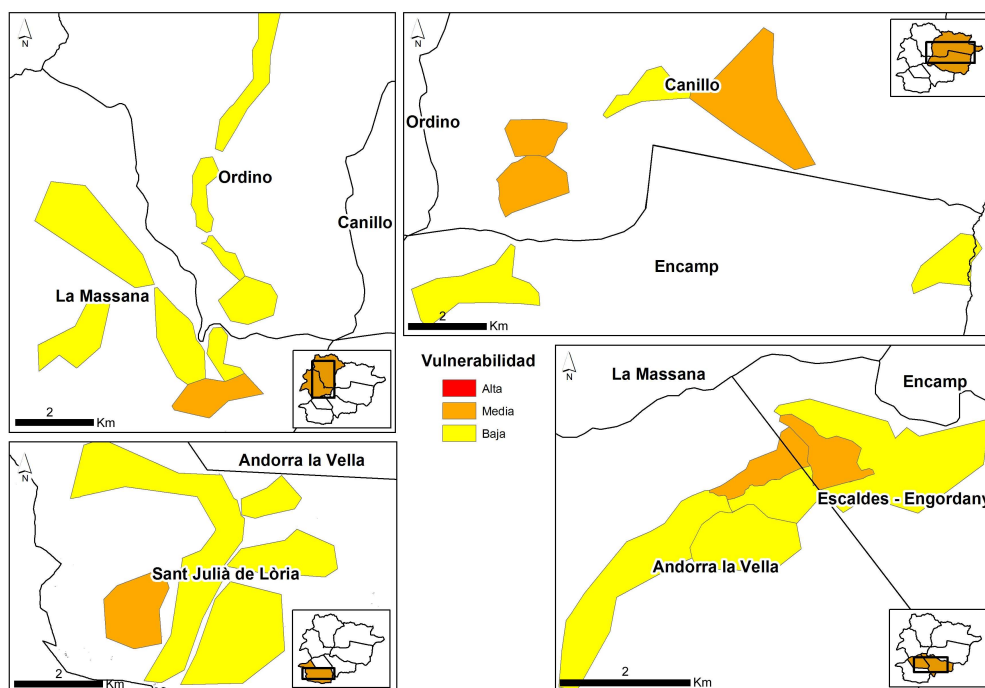


Figura 6.4. Clasificación de la vulnerabilidad del Principado de Andorra, en función del porcentaje de clases de vulnerabilidad A, B, C y D, según la Tabla 6.3 para los polígonos.

6.3.1 La matriz tipológica de los edificios

La definición de las tipologías estructurales se realizó en base a la matriz de clasificación de edificios (*Building Typology Matrix, BTM*) propuesta en el proyecto Risk-ue (*Milutinovic y Trendafiloski, 2003*) con el objetivo de agrupar en una serie de clases los edificios con diferentes tipologías estructurales y comportamientos similares (Anexo 4).

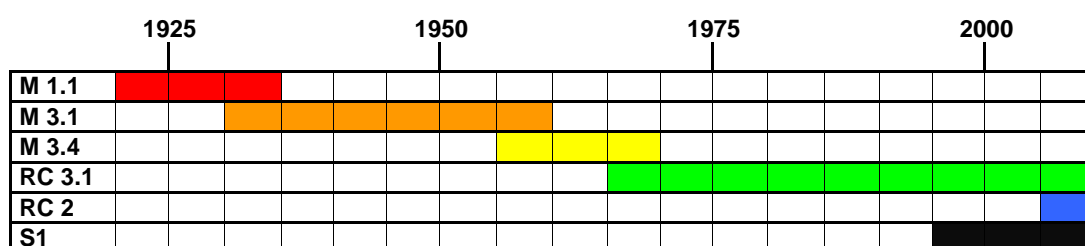
A partir de la base de datos realizada con la opinión de expertos del grupo de trabajo del Proyecto ISARD y de arquitectos de la zona se ha construido una matriz tipológica de edificios del Principado de Andorra, en ella se incluyen las tipologías más frecuentes del país.

Se identificaron 5 tipologías estructurales representativas de los Edificios de vivienda en el Principado: tres tipologías con estructura de mampostería: de piedra fragmentada (M1.1); con solera de madera (M3.1) y con losas de hormigón armado (M3.4); una con estructura de hormigón armado, con pórticos de hormigón armado rellenos de mampostería (RC3.1) y una con estructura de acero, con pórticos de acero resistentes al momento (S1).

A modo de resumen (Tabla 6.3) se puede decir que en el Principado hasta 1930-1935 se construían casas de piedra; a partir de esta fecha el sistema de construcción cambió a estructuras de mampostería (sistema catalán) con soleras de madera; a partir de 1955-1960 se construyen

edificios mixtos (muros de mampostería y losas de hormigón y cerámica), y a partir de 1960-1965 estructuras de hormigón (pilares de hormigón y forjados de hormigón). En los últimos años se están construyendo edificios de muros de cortante de hormigón armado (RC2), actualmente sólo hay 4 ó 5 edificios de este tipo en todo el país, por este motivo no se ha utilizado como una tipología representativa de la zona de estudio.

Tabla 6.3. Identificación de las tipologías constructivas según el periodo de construcción en Andorra.



Las tipologías más frecuentes del Principado se han clasificado en clases de vulnerabilidad (Tabla 6.4) según las clases de vulnerabilidad propuestas para las tipologías de la BTM de Risk-UE (Anexo 4), el objetivo es asignar a cada una de ellas un índice de vulnerabilidad medio basado en la escala EMS'98. Las características particulares de los edificios, número de pisos, nivel de protección sísmica, condición de piso blando, etc., se tienen en cuenta mediante modificadores del índice básico.

Tabla 6.4. Clases de vulnerabilidad propuestas para las tipologías de la BTM de Risk-UE.

			Clases de vulnerabilidad			
Tipología		Descripción	A	B	C	D
Mampostería	M 1.1	Piedra fragmentada, irregular o al natural	X			
	M 3.1	Solera de madera	○	X	○	
	M 3.4	Losas de hormigón armado		●	X	○
Hormigón armado	RC 3.1	Pórticos de hormigón armado rellenos de mampostería: Rellenos regularmente		●	X	○
	RC 2	Muros de cortante de hormigón armado		●	X	○
Acero	S 1	Pórticos de acero resistentes al momento	○	●	X	○

X, es la clase más probable; ● clase posible; ○ clase menos posible.

6.3.2 Distribución de las tipologías estructurales por polígono

A modo de ejemplo la Tabla 6.5 muestra la distribución de las tipologías estructurales según la altura y año de construcción para el polígono de Andorra.

En la Tabla 6.6 se muestra la distribución de las tipologías estructurales de los edificios por polígonos, de ella se extraen las siguientes conclusiones:

- Para los polígonos de la parroquia de *Canillo*: las tipologías estructurales más representativas son la RC 3.1 con unos porcentajes entre el 36 y 46% del total de los edificios y la M 3.1 con porcentajes entre el 30 y el 37%. Ninguno de los polígonos tiene presencia representativa de la tipología S1.
- Para los polígonos de la parroquia de *Encamp*: las distribuciones de las tipologías son diferentes, este hecho es debido a que el polígono AD2001 conserva un núcleo antiguo de edificios y sin embargo el polígono AD2002 no tiene edificios anteriores a 1949. En ninguno de los dos polígonos hay representación de la tipología S1. Para ambos polígonos la tipología más representativa es la RC 3.1.
- Para los polígonos de *Ordino* y *la Massana*: la tipología más representativa es la RC 3.1 con valores entre el 46 y el 65%, las tipologías M 1.1, M 3.1 y M 3.4 presentan unos porcentajes similares entre el 10 y 20% aproximadamente. No hay presencia representativa para ninguno de ellos de la tipología S1.
- Para los polígonos de *Andorra la Vella*: excepto en un polígono (AD5002) hay representación de la tipología S1, las tipologías más representativas siguen siendo la M 3.1, M 3.4 y RC 3.1. La tipología M 1.1 solo está presente en los polígonos AD5001 y AD5002 que son los que tienen edificios de edades anteriores a 1949.
- Para los polígonos de *Sant Julià de Lòria*: todos siguen la misma tendencia a excepción del polígono AD6005, que no lo podemos considerar representativo ya que tiene muy poco edificios (sólo 54). Para los otros polígonos la tipología más representativa es la RC 3.1 con valores entre el 50 y el 70% aproximadamente, las tipologías M 3.1 y M 3.4 tienen valores entre el 15 y el 25%.
- Por último, para los polígonos de *Escaldes-Engordany*: el polígono AD7001 tiene presencia de las 5 tipologías estructurales, aunque de la S1 sólo tiene un 1%. Para este polígono las tipologías más representativas son la M 3.1, M 3.4 y RC 3.1 con porcentajes entre el 26 y 34%. Para el polígono AD7002 la tipología más representativa es la RC 3.1 con un casi 80%. Estas diferencias entre los polígonos de Escaldes-Engordany son debidas a que un polígono, el AD7001, contiene todo el núcleo antiguo y el polígono AD7002 se ha empezado a desarrollar a partir de los años 70.

Tabla 6.5. Distribución en porcentajes tipologías para el polígono de Andorra (AD5002).

AD5002			Edad		
Nº plantas	Estructura	Tipología	< 1949	1949-1972	> 1972
< 4 plantas	Mampostería	M 1.1	70		
		M 3.1	30	45	10
		M 3.4		45	10
	Hormigón armado	RC 3.1		10	80
	Acero	S1			
4-5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1		45	10
		M 3.4		45	10
	Hormigón armado	RC 3.1		10	80
	Acero	S1			
> 5 plantas	Mampostería	M 1.1			
		M 3.1		20	10
		M 3.4		50	10
	Hormigón armado	RC 3.1		30	80
	Acero	S1			

A nivel de parroquias (Figura 6.5), la tipología más representativa es la de RC 3.1 con valores entre el 40 y el 60% de los edificios de las parroquias, después tendríamos más o menos con las mismas proporciones las tipologías M 3.1 y 3.4 (entre el 30 y el 15%), y como tipología menos representativas la M1.1 y la tipología S1 solo está presente en la parroquia de *Andorra la Vella*.

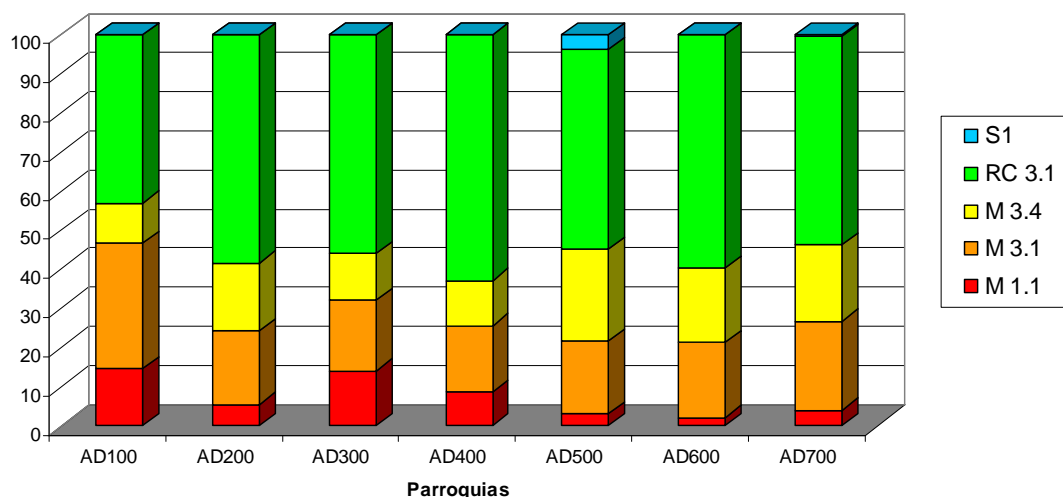


Figura 6.5. Distribución de las tipologías estructurales por parroquias.

Tabla 6.6. Distribución de las tipologías estructurales de los edificios por polígono y por parroquia, en porcentajes.

CODI	Nº edificios de vivienda	M 1.1	M 3.1	M 3.4	RC 3.1	S1
AD1001	109	19	34	6	41	0
AD1002	315	13	31	12	44	0
AD1003	160	19	37	8	36	0
AD1004	351	13	30	11	46	0
AD100	935	15	32	10	43	0
AD2001	1.217	7	20	17	56	0
AD2002	278	0	14	16	70	0
AD200	1.495	5	19	17	58	0
AD3001	413	14	15	10	61	0
AD3002	122	14	17	11	58	0
AD3003	216	12	19	15	54	0
AD3004	209	18	23	13	46	0
AD300	960	14	18	12	56	0
AD4001	181	14	19	13	54	0
AD4002	245	16	21	10	53	0
AD4003	810	4	15	11	70	0
AD4004	294	7	15	12	66	0
AD4005	168	16	21	12	51	0
AD400	1.698	9	17	12	63	0
AD5001	509	6	14	17	57	6
AD5002	593	2	26	30	42	0
AD5003	216	0	13	20	60	7
AD5004	45	0	11	11	63	15
AD500	1.363	3	19	23	51	4
AD6001	113	0	23	23	54	0
AD6002	913	2	21	22	55	0
AD6003	253	0	14	15	71	0
AD6004	259	0	14	14	72	0
AD6005	52	23	24	15	38	0
AD600	1.590	2	19	19	60	0
AD7001	664	7	32	26	34	1
AD7002	523	0	11	11	78	0
AD700	1.187	4	23	20	53	0

6.3.3 Índices de vulnerabilidad básicos

El método define para cada una de las tipologías existentes los índices de vulnerabilidad que relacionan las tipologías de los edificios con su clase de vulnerabilidad. En la Tabla 6.7 se presentan los índices de vulnerabilidad medios que se han utilizado en el cálculo. Los valores de los índices oscilan entre los valores 0 y 1. Los valores cercanos a 1 corresponden a los edificios más vulnerables, mientras que los valores cercanos a 0 corresponden a los menos vulnerables, es decir, a aquellos que se han construido teniendo en cuenta las normativas sismorresistentes.

Tabla 6.7. Principales tipologías para la zona piloto de la cubeta de Andorra con sus correspondientes índices de vulnerabilidad de Risk-UE (Mouroux y Lebrun, 2006).

Tipología	Descripción		Índice de vulnerabilidad medio
Mampostería	M 1.1	Piedra fragmentada, irregular o al natural	0.873
	M 3.1	Solera de madera	0.740
	M 3.4	Losas de hormigón armado	0.616
Hormigón armado	RC 3.1	Pórticos de hormigón armado rellenos de mampostería: Rellenos regularmente	0.402
	RC 2	Muros de cortante de hormigón armado	0.386
Acero	S 1	Pórticos de acero resistentes al momento	0.363

6.3.4 Modificadores del índice de vulnerabilidad

Para tener en consideración características particulares de los conjuntos de edificios, como puede ser su altura, sus transformaciones recientes, el estado de conservación, condición de piso blando, nivel del código sísmico usado en su construcción, etc., se puede variar el índice de vulnerabilidad inicial de cada tipología mediante unos modificadores (Giovinazzi y Lagomarsino, 2004). Así pues, los modificadores permiten incrementar o disminuir el índice de vulnerabilidad básico si sus características mejoran o empeoran la respuesta sísmica.

Los modificadores que se han utilizado en este estudio hacen referencia al número de plantas, año de construcción del edificio, plantas blandas para los edificios de mampostería (Tabla 6.8) y hormigón armado (Tabla 6.9), y nivel de normativa sismorresistente para los edificios de hormigón armado. Un dato a tener en cuenta en la zona de estudio es que no existe una normativa sismorresistente obligatoria, así que salvo raras excepciones los edificios se han construido si tenerla en cuenta.

Tabla 6.8. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad para los edificios de mampostería.

Factores de comportamiento	Parámetros	Puntuaciones	
		Edificios edad < 1949	Edificios edad \geq 1949
Altura o número de pisos	Bajo (1 ó 2)	-0.02	-0.02
	Mediano (3,4, ó 5)	+0.02	+0.02
	Alto (6 o más)	+0.06	+0.06
Piso blando	Transparencia		+0.04

Tabla 6.9. Valores propuestos para los modificadores V_m del índice de vulnerabilidad para los edificios de hormigón armado.

Factores de comportamiento	Parámetros	Puntuaciones	
		Edificios edad < 1949	Edificios edad \geq 1949
Altura o número de pisos	Bajo (1 ó 2)	-0.04	-0.04
	Mediano (3,4, ó 5)	0	0
	Alto (6 o más)	+0.08	+0.08
Piso blando	Transparencia	+0.10	+0.10

En este estudio se han aplicado los modificadores al conjunto de los edificios contenidos en el polígono. A modo de ejemplo, para aplicar el modificador de piso blando, como no se disponía de información detallada para cada uno de los edificios se ha aplicado por polígonos, es decir, para aquellos que tenían un porcentaje elevado de bajos destinados a zona comercial se ha supuesto que el 100% de los edificios contenidos en el polígono se le aplicaba el modificador de plantas blandas. Y para aquellos polígonos que el porcentaje era alto en edificios de vivienda y edificios unifamiliares no se les ha aplicado este modificador.

6.3.5 Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígono

La falta de datos sobre la edificación en toda la zona de estudio, hace que la información sobre las características tipológicas de los edificios no exista y que la recogida a nivel individual de estos datos se saliera de los objetivos de este estudio. Este hecho hace que la distribución de los índices de vulnerabilidad se haya realizado también a nivel de polígono, ya que sólo se conoce su composición de forma estadística.

Para representar los resultados y facilitar la comparación de las dos metodologías, los resultados obtenidos mediante el método del índice de vulnerabilidad se han expresado utilizando los rangos de índices de vulnerabilidad que se aproximan a las clases de vulnerabilidad de la escala EMS'98 (Figura 6.6). Esta equivalencia se ha extraído de Giovinazzi y Lagomarsino (2004) y Giovinazzi (2005), y fue modificada respecto a su definición original, dónde como se observa en la Figura 6.14 un índice de vulnerabilidad puede indicar la pertenencia a dos clases de vulnerabilidad.

La distribución de los índices de vulnerabilidad medio (I_v) para cada polígono se presenta en la Tabla 5.1 del Anexo 5 y Figura 6.7. Los índices más representativos se distribuyen entre los valores 0.82-0.66 y 0.66- 0.51 que corresponden a las clases B y C.

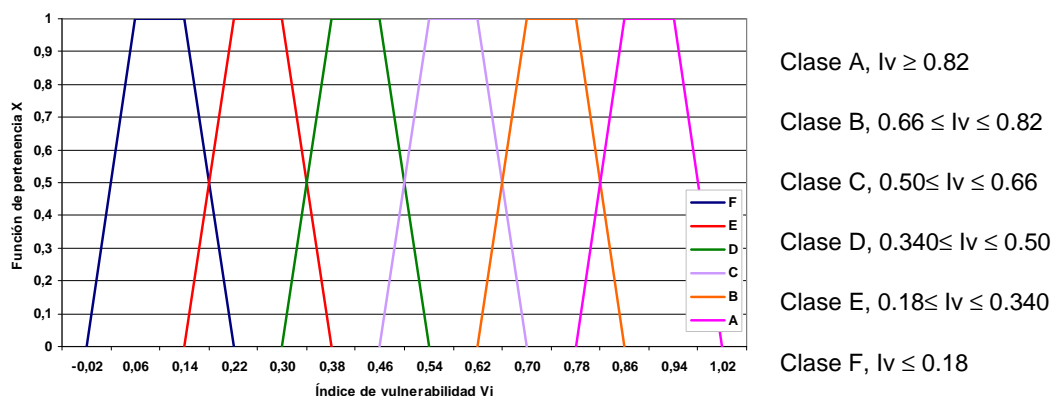


Figura 6.6. Relación entre las clases de vulnerabilidad de la escala EMS '98 y los índices de vulnerabilidad.

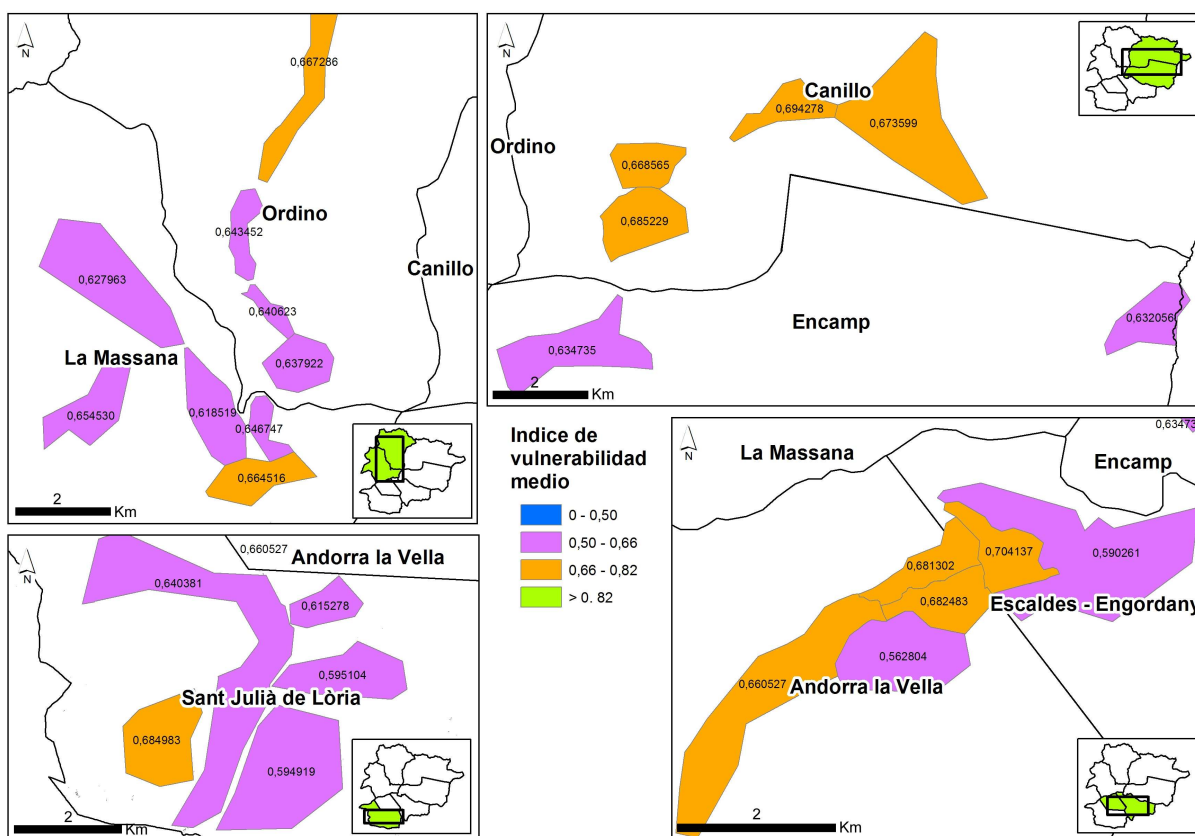


Figura 6.7. Distribución del índice de vulnerabilidad medio por polígonos.

En las Figuras A6.17, 6.18, 6.19 y 6.20 del Anexo 5 se muestra la distribución de los índices de vulnerabilidad para los polígonos. Como resultados generales de la observación de las distribuciones podemos extraer la ausencia de los índices de vulnerabilidad con valores entre 0.34

y 0.50, correspondientes a la clase D, que excepcionalmente aparecen con un porcentaje muy bajo (valores inferiores al 10%) en las parroquias de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany*. Los índices de vulnerabilidad predominantes son los que tienen valores entre 0.50 y 0.66, que se corresponden con la clase de vulnerabilidad C y después los índices con valores entre 0.66 y 0.82, correspondientes a la clase B. Finalmente la presencia de índices de vulnerabilidad superiores a 0.82, correspondientes a la clase A, muestran porcentajes superiores a los que se muestran en la distribución de la aplicación del método de clases de vulnerabilidad para esta misma clase.

6.4 Comparación entre las distribuciones de vulnerabilidad obtenidas

En este apartado se presentan los resultados de la comparación de las dos metodologías utilizadas en el estudio, clases e índices de vulnerabilidad. Como ejemplo se presenta la comparación para todos los polígonos del Principado (Figura 6.8 y Tabla 5.1 del Anexo 5).

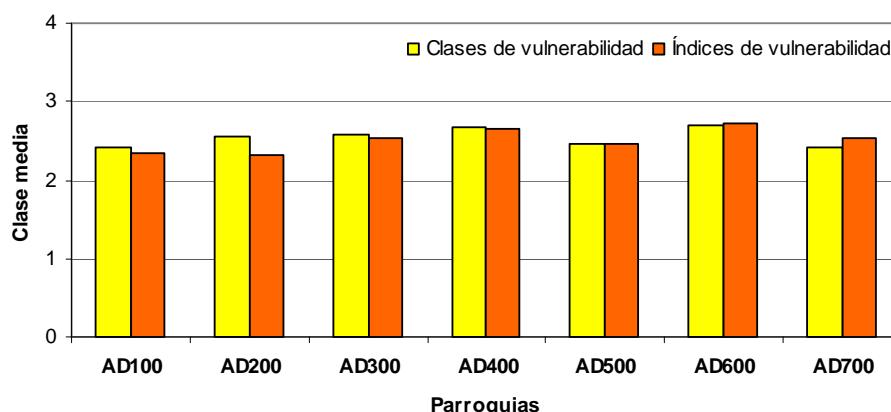


Figura 6.8. Comparación de las clases de vulnerabilidad media, en amarillo los resultados obtenidos a partir de la metodología de clases de vulnerabilidad, en naranja los resultados obtenidos a partir de la metodología de índices de vulnerabilidad para las parroquias.

La parroquias más vulnerables según la metodología de clases de vulnerabilidad son Canillo y Escaldes-Engordany y las menos vulnerables Sant Julià de Lòria y la Massana. Según el método de los índices de vulnerabilidad las parroquias más vulnerables son Canillo y Encamp, y las menos vulnerables Sant Julià de Lòria y la Massana.

De la comparación de las dos metodologías también se extrae que ambas distribuciones coinciden en que el Principado de Andorra está caracterizado por edificios asociados a las clases B y C, y a

índices de vulnerabilidad entre 0.82 y 0.50. A nivel general la metodología del índice de vulnerabilidad muestra una menor vulnerabilidad del parque de edificios. Las máximas diferencias se observan con los polígonos que no tienen un casco histórico y que se han desarrollado en los últimos 30 años (polígonos de la Comella y Engordany-Engolasters). Estas diferencias pueden ser debidas a que la matriz tipológica utilizada en la metodología de clases de vulnerabilidad no está suficientemente adaptada a la región. De hecho la que se ha utilizado en este estudio estaba especialmente ajustada a la región de Cataluña y ésta, puede no representar necesariamente todas las características del Principado de Andorra. Los índices de vulnerabilidad medios indican que la región tiene una vulnerabilidad baja. Este nivel de vulnerabilidad es normal para una región que se caracteriza por edificios de pocas plantas (el 80% del parque de edificios tiene menos de 5 plantas) y que se ha desarrollado en los últimos 40 años (el 60% del parque de edificios se ha construido a partir de los años 70).

6.5 Resumen y discusión

En este capítulo se han presentado los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad del Principado, realizada a partir de la utilización de dos metodologías sencillas, una basada en clases de vulnerabilidad y otra basada en índices de vulnerabilidad. Ambas evalúan la resistencia sísmica del edificio en términos de clases e índices de vulnerabilidad respectivamente.

Los edificios del Principado se distinguen por ser en su mayoría edificios de pocas plantas (a excepción de la parroquia de Andorra la Vella, que tiene alrededor del 40% de edificios con más de 5 plantas), y de reciente construcción (el 60% del parque de edificios de vivienda se ha construido a partir de los años 70). Respecto a las tipologías estructurales se caracteriza por tener como tipología más representativa la de RC 3.1 (estructuras de hormigón con muros de relleno regulares de mampostería no reforzada), con valores entre el 40 y el 60% de los edificios de vivienda de las parroquias. Las tipologías de mampostería M 3.1 (con muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de madera) y M 3.4 (con muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losas de hormigón armado) están representadas por valores del 30 y el 15% dependiendo de la parroquia y como tipología menos representativa está la de mampostería M1.1 (con muros de carga con mampostería de piedras).

Para la evaluación de la vulnerabilidad basada en las clases de vulnerabilidad, de la escala EMS'98, se ha utilizado la misma distribución que la propuesta para Cataluña (Chávez, 1998) y para la evaluación de la vulnerabilidad mediante el método de índices de vulnerabilidad se ha desarrollado una distribución de las tipologías estructurales representativas de la zona en función

del año de construcción y del número de plantas, a partir de visitas de campo y de criterio de experto. Los índices vulnerabilidad se han asignado en función de la clase de vulnerabilidad a la que pertenece y se han modificado en función de la altura, presencia de pisos blandos y nivel de normativa sismorresistente para los edificios de hormigón armado.

Los resultados de aplicar ambas metodologías indican que el Principado está caracterizado por edificios asociados a las clases B y C, y a unos índices de vulnerabilidad entre 0.82 y 0.50. Estos resultados ponen de manifiesto que los edificios de mampostería hechos con piedra fragmentada, irregular o al natural son los edificios más antiguos y más vulnerables que los de mampostería o de hormigón armado. Los edificios menos vulnerables son los de hormigón armado. El conjunto de edificios del Principado, salvo raras excepciones, no ha sido construido utilizando la normativa sismorresistente en su diseño, ya que ésta sólo es una recomendación y no es de carácter obligatorio en el Principado. Estas características hacen que la vulnerabilidad sísmica obtenida mediante las metodologías utilizadas sea baja y para algunas zonas media.

A nivel general la metodología del índice de vulnerabilidad muestra una vulnerabilidad más baja del parque de edificios de vivienda que la obtenida por el método de clases de vulnerabilidad. Las máximas diferencias se observan en los polígonos que no tienen casco histórico y que se han desarrollado en los últimos 40 años. Todas estas diferencias pueden ser debidas a que la matriz tipológica utilizada en la metodología de clases de vulnerabilidad no está adaptada a la región, ya que se utilizó una especialmente adaptada a la región de Cataluña, y ésta puede que no represente necesariamente todas las características del Principado de Andorra.

7 Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de andorra

7.1 Introducción

La combinación de los estudios de peligrosidad y de vulnerabilidad permiten la elaboración de escenarios de daño cuyos resultados tienen dos utilidades principales: antes del sismo, como herramienta para desarrollar políticas de prevención ante desastres sísmicos y después del sismo, en la fase de emergencia, como herramientas de distribución de la información sobre los posibles daños que podría haber causado el terremoto. Estos análisis son el resultado del cálculo de los efectos de un terremoto sobre una determinada región y aportan datos referentes a la estimación del daño a los edificios (edificios inhabitables, edificios colapsados, etc.), del daño a la población (personas sin hogar, heridos de carácter leve, de carácter grave, víctimas mortales, etc.) y de las posibles pérdidas económicas.

Generalmente los valores del movimiento del suelo utilizados para la realización de los diferentes escenarios se refieren a un suelo de tipo medio, pero, cambios en las condiciones del suelo o variaciones topográficas entre otras, pueden variar el valor de éste en un punto. Estas variaciones en el movimiento del suelo implicarán variaciones en los efectos que producen. Por este motivo, en este estudio se ha cuantificado la variación de daños que se podrían producir en una zona teniendo en cuenta los efectos de suelo (González *et. al.*, 2007, Irizarry *et. al.*, 2007). Para ello se ha tenido en cuenta la microzonación sísmica de la *cupeta de Andorra* (zona urbana que abarca las parroquias de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany*) realizada por Macau (2008). El objetivo final es la realización de escenarios de daños útiles a los organismos encargados de la gestión de la emergencia.

Los escenarios de daño se han realizado teniendo en consideración los edificios de viviendas. Sin embargo, no hay que olvidar que para tener un conocimiento completo de estos escenarios también es necesario tener en cuenta otros tipos de edificios e infraestructuras tales como los edificios esenciales o las redes de comunicación entre otros. En concreto, en el Principado, la evaluación de algunos edificios esenciales y redes de comunicación se ha realizado dentro del marco de proyecto ISARD (Roussillon *et. al.*, 2006; Monge *et. al.*, 2007a, Monge *et. al.*, 2007b).

En este capítulo se presentan los resultados para las siete parroquias de Andorra de los diferentes escenarios de daño, tanto para los edificios de vivienda como para la población, obtenidos de la aplicación de las diferentes metodologías de evaluación de la vulnerabilidad utilizadas en este

estudio y de los diferentes escenarios sísmicos, propuestos en el Capítulo 5. Por un lado, se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones utilizando como metodología de evaluación de la vulnerabilidad el método de clases de vulnerabilidad, y por otro, utilizando como evaluación de la vulnerabilidad el método de índices de vulnerabilidad. Al mismo tiempo se presentan los resultados de los escenarios de daño teniendo en cuenta la microzonación sísmica de la *cubeta de Andorra*.

Por último, se hace una comparación de los resultados de la aplicación de los diferentes métodos.

7.2 Aspectos metodológicos

Las últimas catástrofes sísmicas, como el terremoto de *l'Aquila* (Italia) del pasado mes de abril de 2009 con magnitud 6.3 (Mw, *CSEM*³) han vuelto a poner en evidencia, una vez más, el mal funcionamiento de las estructuras existentes, incluso en aquellos países con importante actividad sísmica (sacudidos periódicamente por terremotos destructores). La imposibilidad de predecir los terremotos es un factor que contribuye enormemente a aumentar los daños provocados por estos fenómenos, pero no son sólo factores técnicos y naturales los que impiden reducir estos efectos, sino también, factores de tipo social, económico y político los que dificultan la realización y puesta en marcha de planes de mitigación del riesgo sísmico (Aktan, 1992). Así, la única medida existente para hacer frente a este fenómeno es a través de un sistema de gestión del riesgo adecuado, compuesto por la prevención, la emergencia, la mitigación y la reconstrucción. La evaluación de la vulnerabilidad y la realización de los diferentes escenarios de daño que se presentan en este estudio forman parte de este sistema de gestión: sirven como base: en la prevención, para la realización de planes de evacuación y respuesta; en la mitigación, para llevar a cabo medidas de prevención con normativas y medidas estructurales y no estructurales, y en la preparación de la emergencia, realizando escenarios de daños después del sismo, para estimar los recursos tanto sanitarios, humanos o de desescombro que son necesarios en la fase de emergencia.

Pero, la estimación del daño a los edificios, del daño a la población o de las pérdidas económicas, es muy variable dependiendo, entre otros factores, de las metodologías utilizadas y de lo adaptadas que estén al territorio. Estas metodologías no tienen en cuenta todos los factores que intervienen tanto en el movimiento del suelo (por su complejidad), como en el comportamiento del edificio o en la movilidad de la población. Así, la realización de estos escenarios es muy útil en la

³ European Mediterranean Seismological Centre, <http://www.emsc-csem.org> [última entrada 04/03/2010]

prevención, planificación y gestión de la emergencia, pero hay que tener en cuenta que los resultados se tienen que tomar como valores orientativos.

7.2.1 Daño a los edificios

La evaluación del daño físico a las edificaciones como consecuencia de un terremoto se realiza de manera estadística, de la misma forma que la clasificación de los edificios en clases e índices de vulnerabilidad. Para calcular el daño a los edificios según la metodología de clases de vulnerabilidad se han utilizado las matrices de probabilidad de daño (Roca *et al.*, 2006; Chávez, 1998) que se obtuvieron del análisis estadístico de los datos de daños recogidos después del terremoto de Irpinia (Mw=6.9), ocurrido el 23 de noviembre de 1980, en el Sur de Italia. El método del índice de vulnerabilidad calcula el daño a los edificios utilizando las funciones de vulnerabilidad que relacionan el grado de daño medio, con la intensidad macrosísmica y con el índice de vulnerabilidad mediante la ecuación propuesta por Giovinazzi (2005), ambas explicadas anteriormente en el Capítulo 3.

Como parámetro del movimiento del suelo ambas metodologías utilizan las intensidades macrosísmicas correspondientes a los escenarios sísmicos establecidos en el Capítulo 5. Así, como resultado de la evaluación del daño físico se obtiene el número de edificios distribuidos según los grados de daño, desde el daño 0 que implica no daño, al daño 5, que equivaldría al colapso total de la edificación, en base a la escala EMS'98. Los resultados se presentan para cada una de las unidades de estudio utilizadas (parroquias y polígonos).

7.2.1.1 Grado de daño medio

Para la metodología de índices de vulnerabilidad se ha calculado el grado de daño medio, que está relacionado con el estado de daño más probable. El grado de daño medio suele definirse mediante la expresión 7.1, que es equivalente al parámetro μ_D definido por la distribución Binomial o Beta equivalente (ver Capítulo 3).

$$DS_m = \sum_{i=0}^N iP[DS_i] \quad (7.1)$$

Donde:

- N es el número de estados de daño considerados.
- i es el número correspondiente al estado de daño DS_i y toma valores de 0 a 5 para cada estado de daño considerado en el análisis.

- $P[DS_i]$ es la probabilidad de ocurrencia del estado de daño DS_i .

Así valores de $DS_m = 0$ indican que la probabilidad de todos los estados de daño distintos del estado de daño nulo (0) es nula, mientras que valores de 5 indican que la probabilidad del estado de daño de colapso es 1; y valores de $DS_m = 2.1$, indican que el estado de daño más probable de ese edificio o colección de edificios, varía entre moderado y severo, siendo más probable el estado de daño moderado.

Para cada edificio el grado de daño medio se ha estimado a partir de su índice de vulnerabilidad y de la intensidad sísmica asignada según la ecuación 3.9 (ver Capítulo 3). De esta forma, para cualquier escenario sísmico definido en términos de intensidad macrosísmica (determinista o probabilista), el método permite estimar el grado de daño medio esperado en cualquier edificio o conjunto de edificios, definidos mediante su índice de vulnerabilidad. Los resultados se expresarán en función de los grados de daños y del grado de daño medio.

El grado de daño medio es útil porque permite hacerse una idea clara y precisa del nivel de daño global y de su distribución geográfica en un solo mapa. También sirve para establecer comparaciones entre escenarios sísmicos diferentes. Los valores de grado de daño medios pequeños indican poco daño, mientras que valores grandes corresponden a daños severos. Los estados de daño adoptados son: 0) nulo; 1) leve; 2) moderado; 3) severo; 4) extensivo y 5) completo.

Ajustando los índices de vulnerabilidad y los correspondientes grados de daño medio para cada tipología, se obtienen unas funciones de vulnerabilidad, que correlacionan el grado de daño medio, la intensidad macrosísmica y el índice de vulnerabilidad. La Figura 7.1 muestra las funciones de vulnerabilidad para los tipos de edificios considerados en el estudio. Se puede observar cómo la tipología M1.1 (de mampostería de piedra fragmentada, irregular o al natural) corresponde al tipo de edificio más vulnerable y la S1 (estructuras metálicas con portícos de acero resistentes al momento) al menos vulnerable.

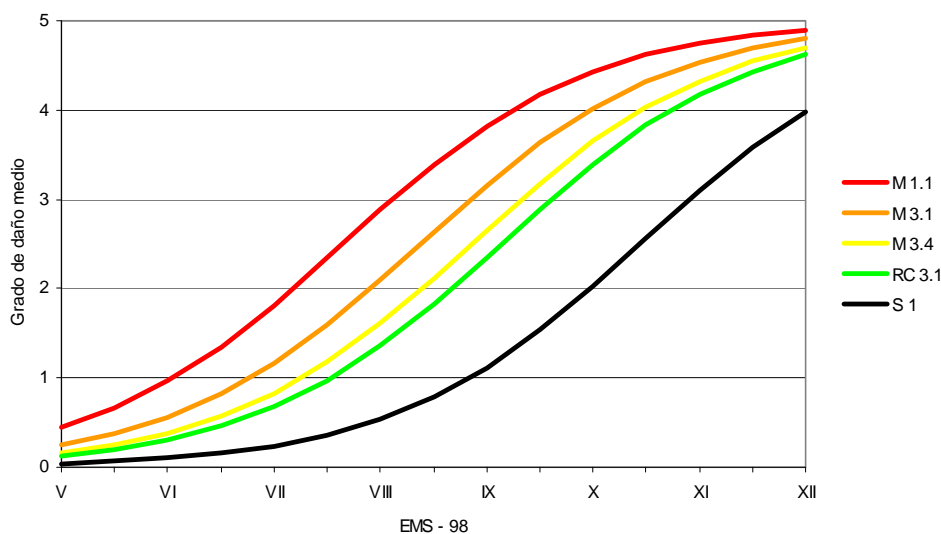


Figura 7.1. Funciones semi-empíricas de vulnerabilidad para las tipologías más representativas de la zona.

7.2.1.2 Clasificación del daño

Con el objetivo de presentar una visión general de daño a los edificios por unidad de estudio se ha realizado una clasificación de la distribución de los diferentes grados de daño. Para ello se han definido tres grupos de daño: ligero, moderado y serio (Tabla 7.1). Estos grupos se definen en función de las variaciones de los porcentajes de daños ligeros (PL), moderados (PM) o serios (PS) definidos en Chávez (1998) para Cataluña. El porcentaje de daños ligeros es igual a la suma de los grados 0 y 1; la suma de los grados 2 y 3 corresponde al daño moderado, y la suma de los grados de daños 4 y 5 corresponde al porcentaje de daños serios.

Tabla 7.1. Condiciones para la clasificación del grado de daño observado.

Categorías de Daño	Condición
Ligero	$PL \geq 90 + PM \leq 10 + PS \leq 2$ $78 < PL < 90 + PM \leq 20 + PS < 2$ $78 < PL \leq 90 + PM > 20 + PS < 2$
Moderado	$63 < PL \leq 78 + 20 < PM \leq 30 + 2 < PS \leq 7$ $63 < PL \leq 78 + PM > 30 + PS \geq 2$ $63 < PL < 78 + PM \geq 20 + PS < 2$
Serio	$PL < 63 + PM \geq 30 + PS \geq 7$ $PL \leq 63 + PM > 30 + PS < 7$

7.2.2 Daño a la población

La ocurrencia de víctimas humanas como consecuencia de un terremoto está directamente relacionada con el número de edificaciones dañadas y personas expuestas. Así, la estimación del daño a las personas requiere conocer por una parte, las probabilidades de ocurrencia de los grados de daño a los edificios, y por otra, conocer la evolución espacial y temporal de la población (Martí, 1999): población residente, población flotante, distribución de la población a lo largo del día (día/noche), a lo largo de la semana (laboral/festivo) o a lo largo del año (vacaciones/puentes/etc.). La realización de diferentes escenarios en función de la evolución espacial y temporal de la población genera información de gran utilidad en la prevención, preparación, planificación y gestión de la emergencia. Especialmente en aquellos países dónde por sus particularidades especiales, como es el caso del Principado de Andorra, su población sufre una variación muy importante a lo largo del día, debido a su carácter fronterizo; y a lo largo del año, debido a su carácter turístico.

En las Figuras 7.2 y 7.3 se presentan los habitantes por edificio para las dos unidades de estudio, las parroquias y los polígonos (ver Anexo 2).

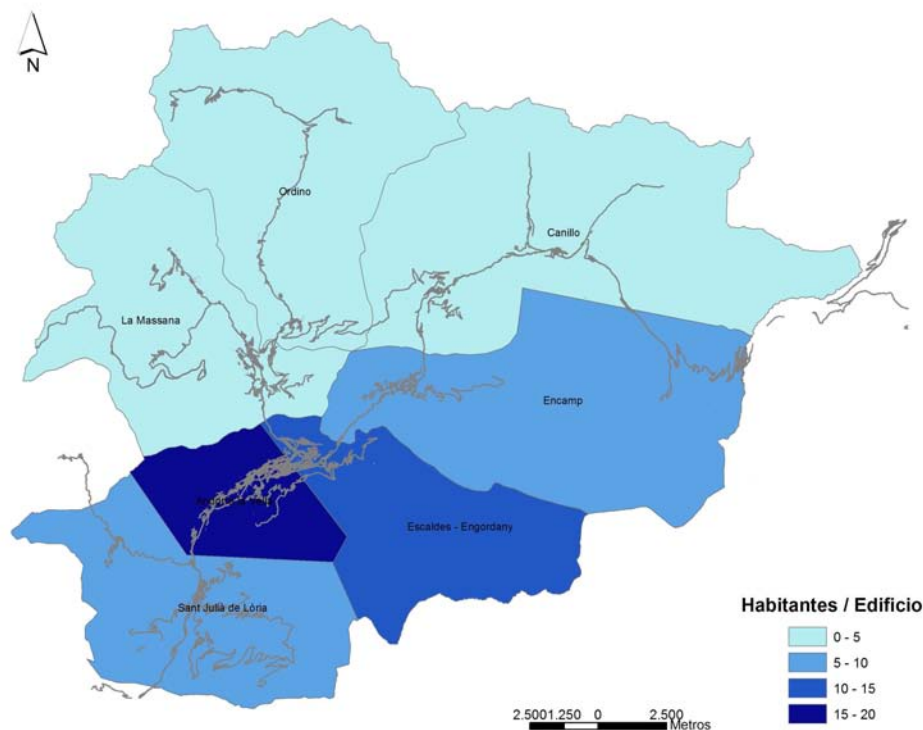


Figura 7.2. Habitantes por edificio para cada parroquia.

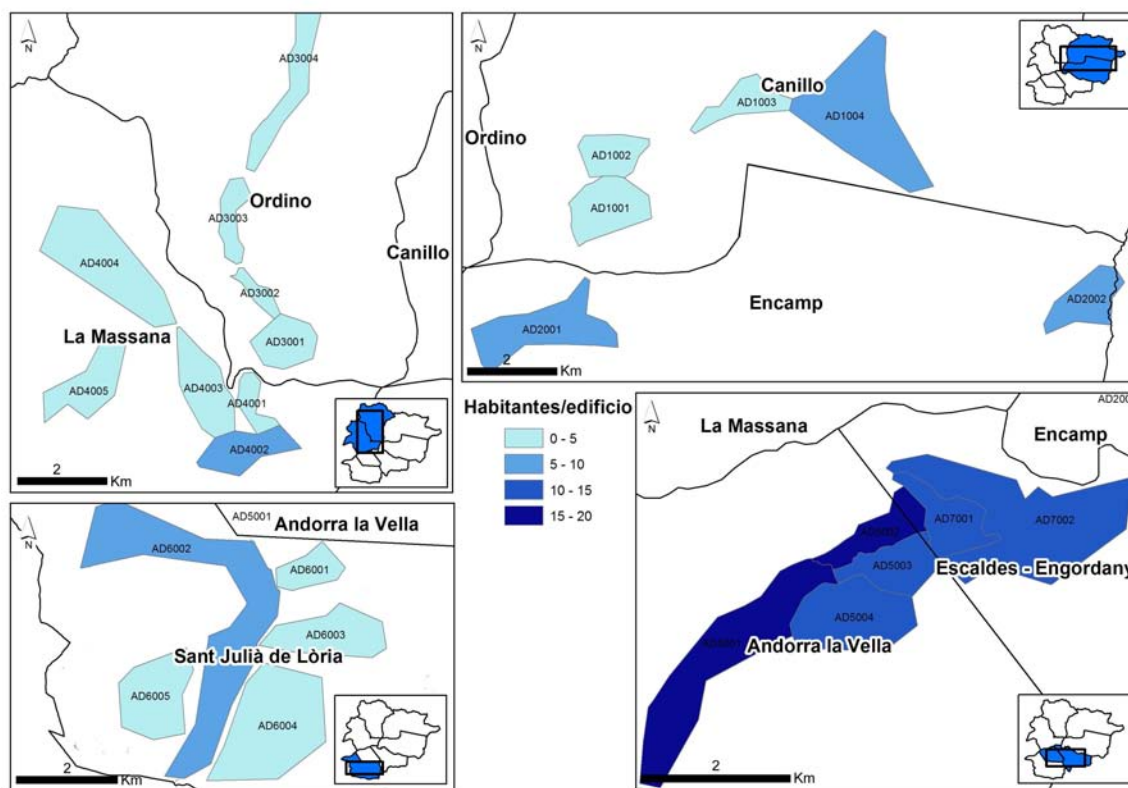


Figura 7.3. Habitantes por edificio para cada polígono.

Las metodologías que se han escogido en este trabajo para realizar la estimación de las víctimas que se podrían producir por la ocurrencia de un determinado escenario sísmico son la ATC-13 (1985) y la propuesta por Coburn y Spence (1992).

Los escenarios que se presentan están realizados teniendo en cuenta sólo la población residente del Principado y considerando que el terremoto se produce de noche. El daño a la población se ha expresado en función del número de personas que potencialmente podrían resultar con heridas graves o leves, así como las posibles víctimas mortales y aquellas que podrían quedar sin hogar (*"homeless"*). El número de personas sin hogar es una cifra muy importante a la hora de diseñar estrategias y planes de emergencia, ya que nos permite calcular los espacios que se tendrían que habilitar para alojarlas durante un determinado periodo de tiempo.

7.2.2.1 Estimación del daño a la población utilizando el método ATC-13

La metodología ATC-13 tiene la característica que aporta un porcentaje de víctimas para cada grado de daño experimentado por las edificaciones, incluyendo estructurales y no estructurales (Tabla 7.2). Se escoge porque tiene en consideración las posibles víctimas provocadas por los

grados de daño más bajos, que son los que cabe esperar en lugares de baja-moderada sismicidad, como es el caso de la zona de estudio. Tiene como inconveniente que ha sido desarrollada para ser aplicada en la zona de California, en Estados Unidos, y que aunque la metodología indica los porcentajes que son utilizables para todo tipo de viviendas, los daños observados son para las construidas en ese lugar. También hay que tener en cuenta que los coeficientes se han determinado utilizando los terremotos ocurridos en Estados Unidos. Por lo tanto, los resultados obtenidos son resultados orientativos, que no tienen porque coincidir con los que ocurran en la región, pero que pueden resultar de mucha utilidad, en zonas donde no se dispone de otra información, para tener órdenes de magnitud.

Tabla 7.2. Coeficientes de víctimas humanas por terremotos para cada grado de daño, según el método ATC-13.

Coeficientes del estado físico de las víctimas			
Grado de daño	Heridos leves	Heridos graves	Muertos
1	3.3/10000	1.1/25000	1.1/100000
2	3.3/1000	1.1/2500	1.1/10000
3	3.3/100	1.1/250	1.1/1000
4	3.3/10	1.1/25	1.1/100
5	2/5	2/5	1/5

7.2.2.2 Estimación del daño a la población utilizando el método Coburn y Spence (1992)

La metodología de Coburn y Spence (1992) se ha desarrollado a partir del análisis de los datos correspondientes a unos 1.100 terremotos catastróficos que provocaron la muerte de más de 1,5 millones de personas. Esta metodología estima el daño a la población teniendo en cuenta únicamente los edificios colapsados y considera el número de personas que reside habitualmente en los edificios, las que podrían encontrarse en el edificio en el momento de ocurrir el terremoto, las que podrían quedar atrapadas por el colapso del mismo, así como las que mueren en el momento de producirse el colapso, etc. La metodología se resume en la siguiente expresión:

$$K_{S_b} = D5 \times [M1_b \times M2_b \times M3_b \times (M4_b + M5_b) \times (1 - M4_b)] \quad (7.2)$$

Donde:

K_{S_b} , es el número de muertos por colapso de edificios.

b , es la tipología estructural del edificio.

$D5$, número de edificios colapsados en cada municipio.

$M1_b$, población por edificio.

$M2_b$, porcentaje de ocupantes del edificio en el momento de producirse el terremoto.

$M3_b$, porcentaje de ocupantes atrapados por el colapso.

$M4_b$, porcentaje de muertes producidas en el momento del colapso.

$M5_b$, porcentaje de muertes post-colapso del edificio.

Para la aplicación de la expresión de Coburn y Spence se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones (Lantada, 2007): el coeficiente $D5$ corresponde al grado de daño 5 de la escala EMS'98; para los ocupantes de los edificios en el momento de ocurrir el terremoto se estimó en el 80% de la población por edificio; como porcentaje de ocupantes atrapados por el colapso se consideró un 20% y como porcentaje de muertes producidas en el momento del colapso se consideró un 20%; por último se asignó un 30% al porcentaje de muertes post-colapso del edificio, porcentaje máximo que corresponde a la incapacidad de la comunidad para realizar un alto número de labores de rescate de las víctimas, debido al alto número de ellas o a la falta de preparación, o por no disponer de planes de emergencia sísmica. Los valores que se han tenido en cuenta han sido los más desfavorables por lo que se obtendrán resultados de los casos más extremos.

7.2.3 Pérdidas económicas

La evaluación de las pérdidas económicas producidas como consecuencias de un terremoto es una tarea difícil, debido a su gran variedad. Éstas van desde los daños estructurales y no estructurales producidos en las edificaciones, a la paralización de la actividad económica tanto industrial como comercial de la región, al contenido material de los edificios o a la interrupción en los servicios de las líneas vitales, entre muchos otros. Todo esto sin tener en cuenta las implicaciones de orden político, social y psicológico que se producen en la población debido a la pérdida de viviendas, empleo, familia, etc. (Coburn y Spence, 1992; ATC-13, 1985).

La estimación de las pérdidas económicas nos permite obtener el impacto económico del terremoto sobre un país y su repercusión en el crecimiento de la economía de una zona. También nos permite evaluar la dimensión de la catástrofe, ya que ésta está directamente relacionada con su coste económico.

De la amplia variedad de pérdidas que se producen como consecuencia de un terremoto, en este estudio sólo consideraremos las derivadas del daño físico a las edificaciones. Éstas se han calculado a partir de la expresión 7.3, que relaciona el grado de daño físico con las pérdidas económicas que éste implica.

$$\text{Índice de daño económico} = \frac{\text{Coste de reparación del daño}}{\text{Coste de reposición}} \quad (7.3)$$

La evaluación de las pérdidas económicas provocadas por el daño a los edificios ha sido realizada mediante un índice de daño global que relaciona el porcentaje de pérdidas económicas del edificio en función del grado de daño que éste experimente. En este caso se ha adoptado un índice de daño global determinado a partir de la media de varios índices que han sido propuestos en diferentes lugares de mundo (Chávez, 1998).

Una vez determinado el número de edificios para cada grado de daño (de 0 a 5) en cada una de las unidades de estudio y establecido el índice de daño, que relaciona el daño físico de la estructura con las pérdidas económicas, se lleva a cabo la evaluación de dichas pérdidas. Para ello se ha estimado el área de construcción dañada correspondiente a cada grado de daño, que se ha calculado a partir del número de viviendas por edificio multiplicado por el área promedio de las viviendas en cada una de las parroquias. Para la parroquia de *Canillo* la superficie media de las viviendas es de 58 m², para *Encamp* de 65 m², para *Ordino* de 100 m², para *la Massana* de 98 m², para Andorra la Vella de 86 m² y para *Sant Julià de Lòria* y *Escaldes-Engordany* 97 y 95 m² respectivamente (Capítulo 2). El número promedio de viviendas por edificios es un dato que no existe en el Principado de Andorra, así que éste se ha estimado a partir de criterio de experto y a partir de generalizaciones obtenidas del análisis de los datos recogidos en la base de datos de edificación. Uno de los datos que se recogió, para alguna de las parroquias, fue el uso del edificio, en el caso de los edificios de vivienda es posible diferenciar si es unifamiliar o plurifamiliar. Para el cálculo a estos edificios se le ha asignado a los edificios unifamiliares una única vivienda. Del análisis de la información, para las parroquias en las que no se disponen del uso del edificio, se puede ver si son zonas residenciales, de casas unifamiliares o de bloques de pisos. En estos casos al igual que en el caso anterior a los edificios unifamiliares se ha aplicado el mismo criterio y

para los bloques de viviendas, el número de viviendas por edificio se ha calculado en función del número de plantas y considerando que hay dos viviendas por planta.

La evaluación de las pérdidas provocadas por el daño sísmico a las edificaciones se ha estimado a partir de la inversión que sería necesaria para reemplazar el edificio. El coste de construcción por metro cuadrado en el Principado se ha estimado en 1.200 euros/m², precio que no tiene en cuenta ni el valor del suelo, ni el del desescombros de las ruinas en caso de fallo de la edificación.

Así para realizar el cálculo se utiliza el índice de daño económico relacionado para cada grado de daño, el área promedio de la vivienda y el número de edificios afectados por cada grado de daño y se hace una estimación de las pérdidas provocadas en cada parroquia.

7.3 Escenarios daños

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la estimación del daño físico que experimentarían los edificios del Principado de Andorra al ser sometidos a diferentes escenarios sísmicos (escenario determinista, Intensidad VI-VII; escenario probabilista con periodo de retorno de 475 años; Intensidad VII, y escenario probabilista con periodo de retorno de 1975 años, Intensidad VIII) y los resultados obtenidos del daño a la población como consecuencia de los mismos escenarios. Estos resultados se presentan en función de las metodologías utilizadas en la evaluación de la vulnerabilidad, en clases e índices de vulnerabilidad.

Además, para la zona de la *cupeta de Andorra* se han realizado los mismos escenarios pero teniendo en consideración los efectos de suelo (Macau, 2008). El objetivo es ver como influyen los efectos de suelo en los daños que se producen como consecuencia de un terremoto similar a los escenarios utilizados.

7.3.1 Metodología de Clases de vulnerabilidad

7.3.1.1 Estimación de daños a partir de un escenario determinista

El escenario determinista considera, en términos de intensidad, un terremoto similar al ocurrido el 2 de febrero de 1428, que asigna al Principado de Andorra una intensidad de VI-VII (ver Capítulo 5).

En la Tabla 7.3 y Anexo 6 (Tabla A6.1) se presenta la distribución de los daños, desde daño 0 (no daño) a daño 5 (colapso total de la edificación) respectivamente. Las parroquias con un mayor porcentaje de edificios que no sufrirían daños son la parroquia de *la Massana* y la de *Sant Julià de*

Lòria, con un 48%. Las parroquias con mayor porcentaje de daños 1 y 2 corresponden a la parroquia de *Canillo*, *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* con alrededor de un 35% de grado daño 1 y un 17-16% de grado de daño 2. Para este escenario todas las parroquias sufrirían daños ligeros a excepción de la parroquia de *Canillo* que sufriría daños moderados.

Tabla 7.3. Distribución de daños para el escenario determinista, en número de edificios.

Parroquias	D 0	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	Edificios inhabitables	Daño
Canillo	395	330	153	47	9	1	34	Moderado
Encamp	676	521	222	63	12	1	45	Ligero
Ordino	436	334	141	40	8	1	29	Ligero
La Massana	808	583	232	63	11	1	44	Ligero
Andorra la Vella	594	483	217	65	13	1	47	Ligero
Sant Julià de Lòria	767	547	211	55	9	1	38	Ligero
Escaldes-Engordany	502	418	194	60	12	1	43	Ligero

Respecto a los edificios inhabitables (Figura 7.4) ninguna parroquia superaría los 50 edificios, que corresponden a un 3-4% del total de los edificios de cada parroquia.

La distribución del número de personas (según ATC-13) que pueden resultar con heridas graves, leves, víctimas mortales y personas sin hogar se presenta en el Anexo 6 (Tabla A6.5). Como resultados tendríamos que la parroquia de *Ordino* tendría menos de 100 personas sin hogar, las parroquias de *Canillo*, *la Massana* y *Sant Julià de Lòria* tendrían entre 100 y 200 personas sin hogar. Las parroquias de *Andorra la Vella*, *Escaldes-Engordany* y *Encamp* tendrían entre 300 y 750 personas sin hogar.

Respecto a las víctimas mortales, ninguna de las parroquias superaría la decena para este escenario determinista.

Los resultados de la aplicación de la metodología propuesta por Coburn y Spence (1992) se muestran en la Tabla A6.7 del Anexo 6, en él se presenta una tabla donde se indican los habitantes por edificio colapsado, las personas que escapan, las personas atrapadas, los muertos por edificio colapsado, etc. Estos datos son de gran ayuda en la preparación de la emergencia y en la posterior emergencia ya que nos dan un orden de magnitud de cuantas personas quedarán atrapadas entre los escombros. Para el escenario determinista tendríamos que unas 20 personas quedarían atrapadas entre las parroquias de *Andorra la Vella* y *Escaldes- Engordany*.

Capítulo 7. Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de andorra

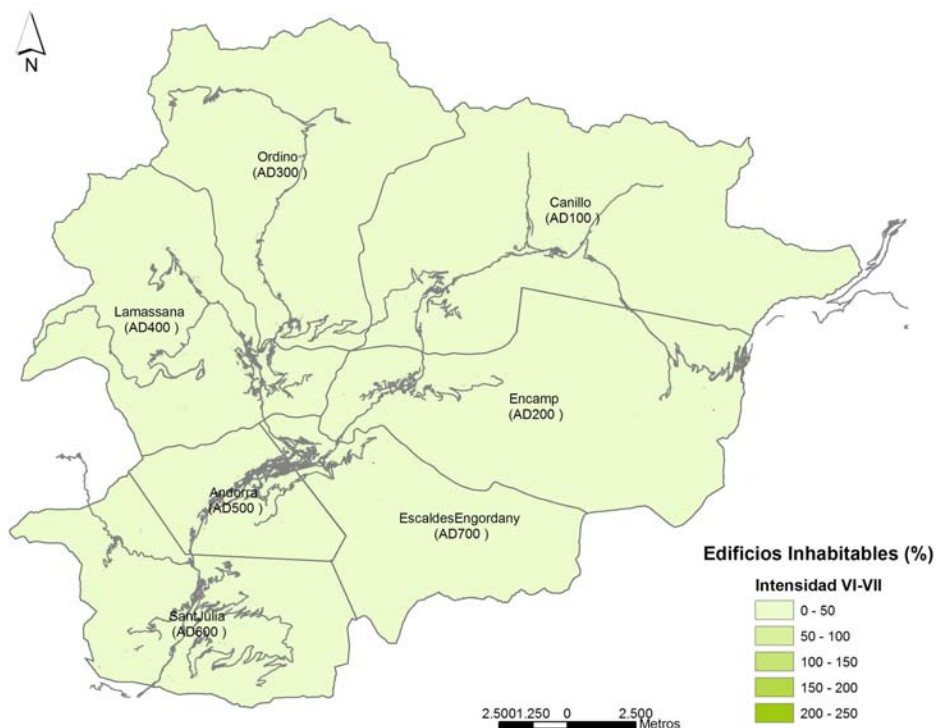


Figura 7.4. Distribución de los edificios inhabitables para el escenario determinista considerado.

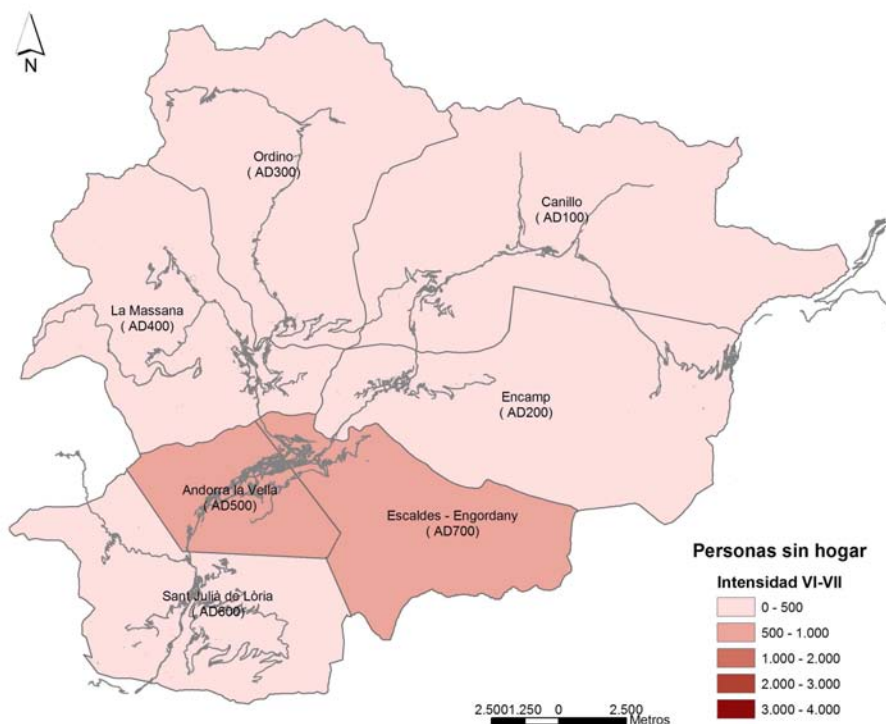


Figura 7.5. Distribución de las personas sin hogar para el escenario determinista considerado, según ATC-

7.3.1.2 Estimación de daños a partir del mapa probabilista de período de retorno de 475 años

El mapa probabilista para un periodo de retorno de 475 años asigna a todo el Principado una intensidad VII, medio grado superior al escenario determinista.

En la Tabla 7.4 y Anexo 6 (Tabla A6.1) se presenta la distribución de los daños, desde daño 0 (no daño) a daño 5 (colapso total de la edificación) respectivamente. Las parroquias con un mayor porcentaje de edificios que no sufrirían daños son la parroquia de *la Massana* y la de *Sant Julià de Lòria*, con un 37%. Las parroquias con mayor porcentaje de daños 1 y 2 corresponden a la parroquia de *Canillo* y *Escaldes-Engordany* con alrededor de un 37% y 22% respectivamente. Las parroquias sufrirían daños moderados.

Respecto a los edificios inhabitables, las parroquias que superarían los 70 edificios inhabitables serían *Encamp*, *Ordino* y *Andorra la Vella*.

Tabla 7.4. Distribución de daños para el escenario probabilista ($T=475$ años), en número de edificios.

Parroquias	D 0	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	Edificios inhabitables	Daño
Canillo	295	346	204	73	15	1	53	Moderado
Encamp	515	558	301	100	20	2	72	Moderado
Ordino	334	357	192	64	13	1	46	Moderado
La Massana	627	633	317	100	19	2	71	Moderado
Andorra la Vella	446	510	291	102	21	2	74	Moderado
Sant Julià de Lòria	596	597	292	88	16	1	61	Moderado
Escaldes-Engordany	376	438	258	93	20	2	69	Moderado

La distribución del número de personas que pueden resultar con heridas graves, leves, víctimas mortales y personas sin hogar se presenta en el Anexo 6. Utilizando el método ATC-13 las parroquias con mayor número de personas sin hogar podrían ser *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* con alrededor de unas 1.000 personas. Las parroquias de *Canillo* y *Ordino* serían las que menos personas, tendrían entre 100 y 200 personas sin hogar.

Respecto a las víctimas mortales, en las parroquias de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany* superarían la decena de persona para este escenario.

Los resultados de la aplicación de la metodología propuesta por Coburn y Spence (1992) se muestran en el Anexo 6 (Tabla A6.5). Para el escenario probabilista para un periodo de retorno de 475 años tendríamos que alrededor de unas 40 personas podrían quedar atrapadas en los edificios en las parroquias de *Andorra la Vella* y *Escaldes-Engordany*.

Capítulo 7. Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de andorra

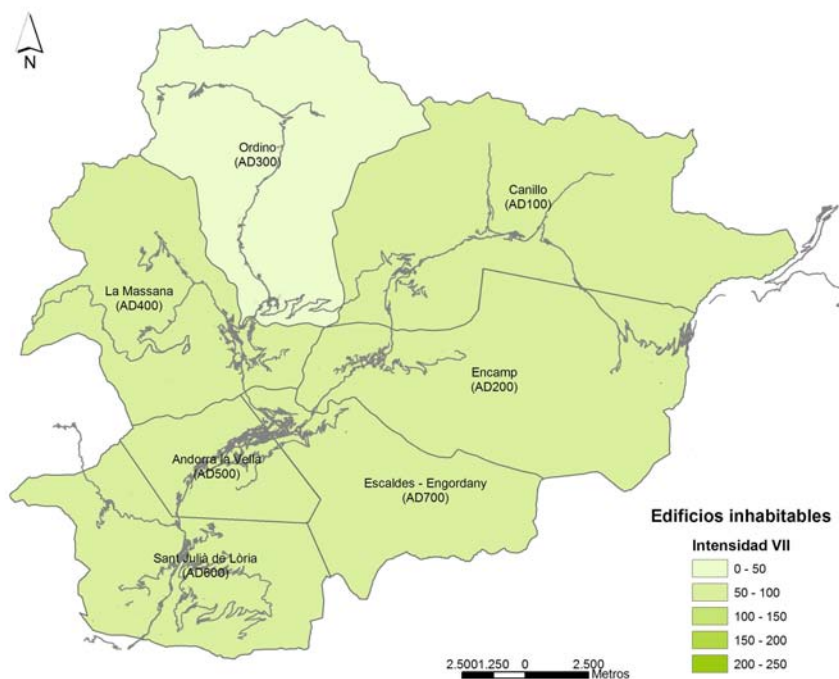


Figura 7.6. Distribución de los edificios inhabitables para el escenario probabilista ($T=475$ años), según ATC-13.

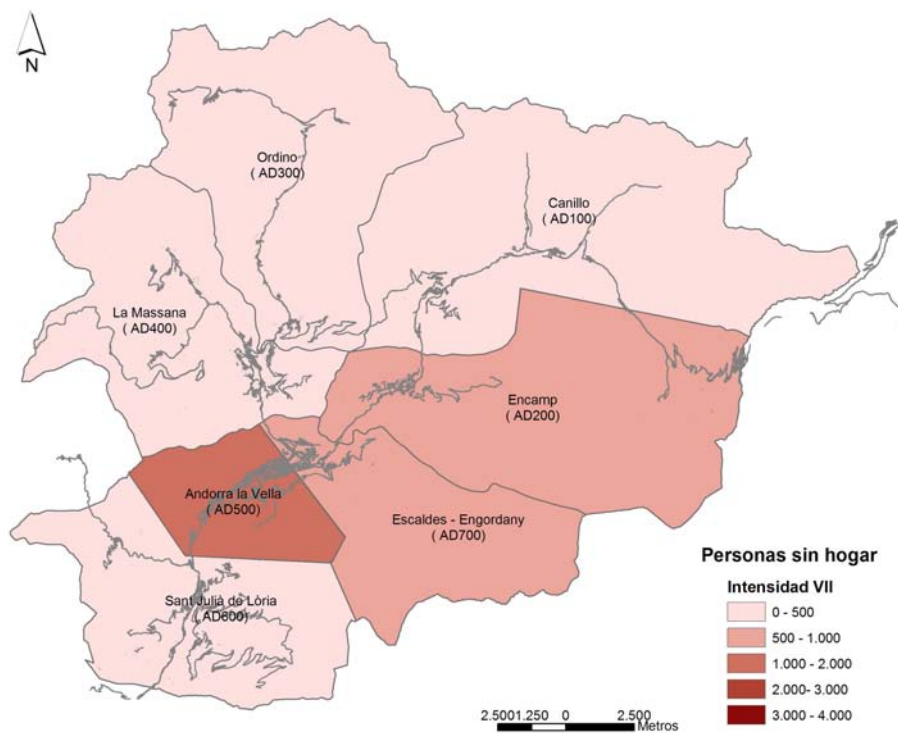


Figura 7.7. Distribución de las personas sin hogar a partir del mapa probabilista ($T=475$ años), según ATC-13.

7.3.1.3 Estimación de daños a partir del mapa probabilista de período de retorno de 1975 años

El mapa probabilista para un periodo de retorno de 1975 años asigna al Principado una intensidad VIII, un grado superior que para el período de 475 años.

En la Tabla 7.5 y Anexo 6 (Tabla A6.1) se presenta la distribución de los daños, desde daño 0 (no daño) a daño 5 (colapso total de la edificación) respectivamente. Para este caso todas las parroquias podrían sufrir daños serios. A excepción de las parroquias de *Canillo* y *Ordino*, todas las parroquias podrían tener alrededor de los 200 edificios inhabitables.

Respecto a las personas sin hogar (según ATC-13), las parroquias con mayor número de personas sin hogar serían la parroquia de *Andorra la Vella* con alrededor de 3.500 personas, seguidas de la parroquia de *Escaldes-Engordany* con unas 2.800 personas. Sólo en la *cupeta de Andorra la Vella* tendríamos alrededor de 6.000 personas sin hogar, y para todo el Principado serían unas 11.000 personas.

Como resultados de la aplicación de la metodología propuesta por Coburn y Spence (1992), presentados en el Anexo 6 (Tabla A6.7) tendríamos unas 450 personas atrapadas en los escombros. La diferencia importante del número de personas sin hogar entre la aplicación de uno u otro método está influida principalmente en la consideración en el cálculo de sólo el grado de daño 5 en la metodología Coburn y Spence (1992).

Tabla 7.5. Distribución de daños a partir del mapa probabilista ($T=1975$ años), en número de edificios.

Parroquias	D 0	D 1	D 2	D 3	D 4	D 5	Edificios inhabitables	Daño
Canillo	136	281	278	166	62	12	157	Serio
Encamp	241	476	438	241	83	15	219	Serio
Ordino	157	306	280	154	53	10	140	Serio
La Massana	301	561	487	252	82	14	222	Serio
Andorra la Vella	205	422	407	236	86	16	220	Serio
Sant Julià de Lòria	286	534	457	230	71	12	198	Serio
Escaldes-Engordany	173	357	352	211	80	16	202	Serio

Capítulo 7. Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de andorra

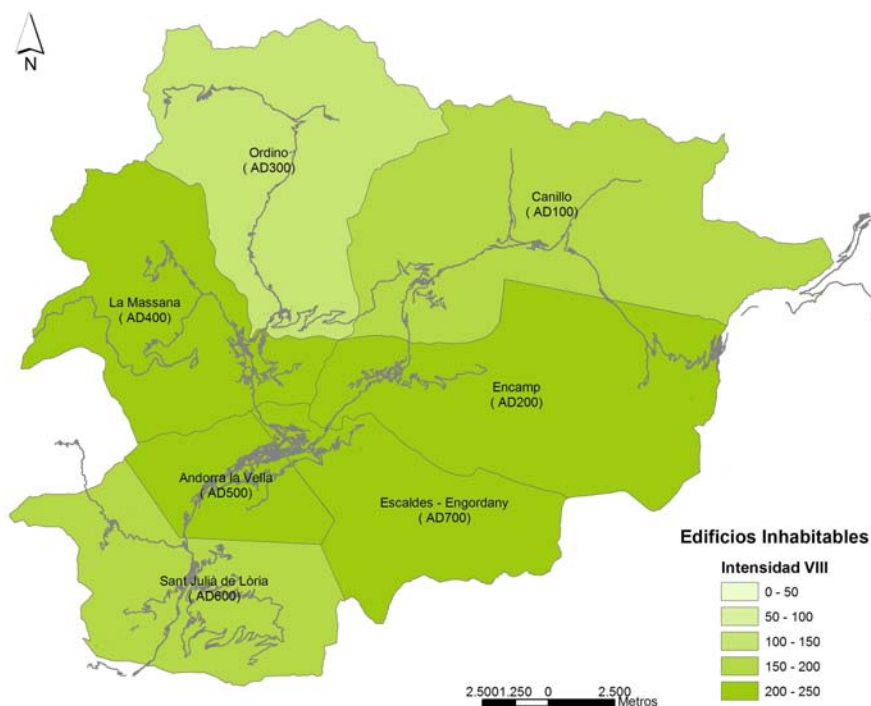


Figura 7.8. Distribución de los edificios inhabitables a partir del mapa probabilista (T=1975 años), según ATC-13.

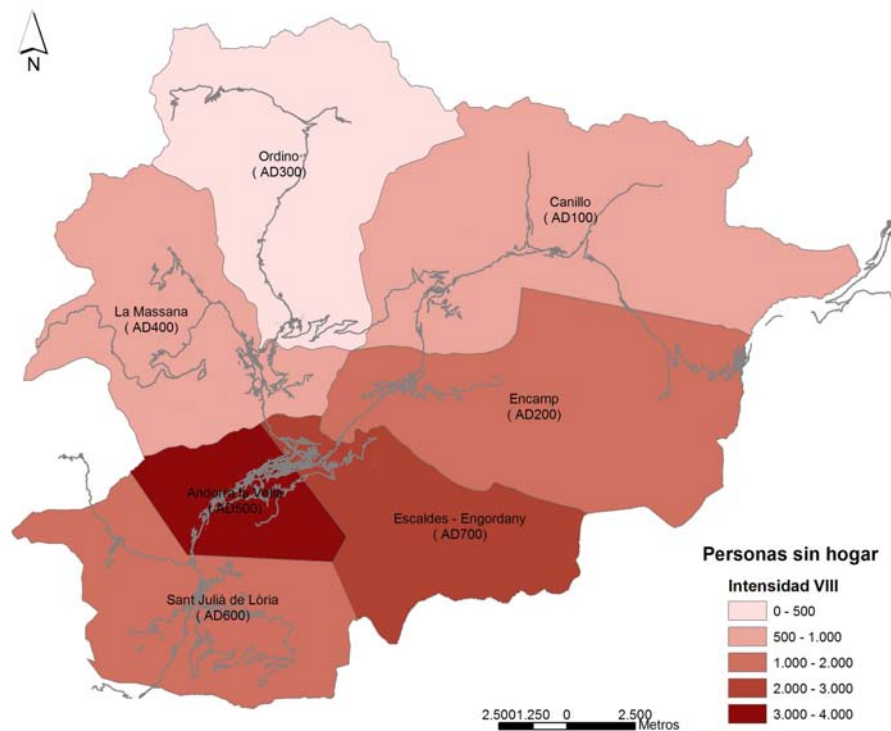


Figura 7.9. Distribución de las personas sin hogar a partir del mapa probabilista (T=1975 años), según ATC-13.

7.3.2 Metodología del índice de vulnerabilidad

7.3.2.1 Estimación de daños para un escenario determinista

La metodología del índice de vulnerabilidad nos permite calcular el daño medio o grado de daño más probable una vez conocida la intensidad que afecta a cada edificio o grupo de edificios y su índice de vulnerabilidad (Tabla 7.6). En la Figura 7.10 se presenta este parámetro considerando el escenario determinista, que asigna una intensidad VI-VII al Principado. Se puede observar que el grado de daño medio para este escenario asigna valores de daño leves para la mayoría de los polígonos y para algunos de ellos no le asigna daño.

La distribución de los grados de daño para cada polígono se muestra en el Anexo 6 (Tabla A6.2) Según la relación de la Tabla 7.1, que clasifica el daño en función de los porcentajes de grados de daños presentes en un polígono. Para el escenario determinista los daños que se producirían serían ligeros. Para todo los polígonos el grado de daño 0 está representado como mínimo por el 60% de los edificios. Como edificios inhabitables, los polígonos de *Encamp* y de *Escaldes Centro* presentarían alrededor de 10 edificios inhabitables, los demás estarían por debajo de esta cifra.

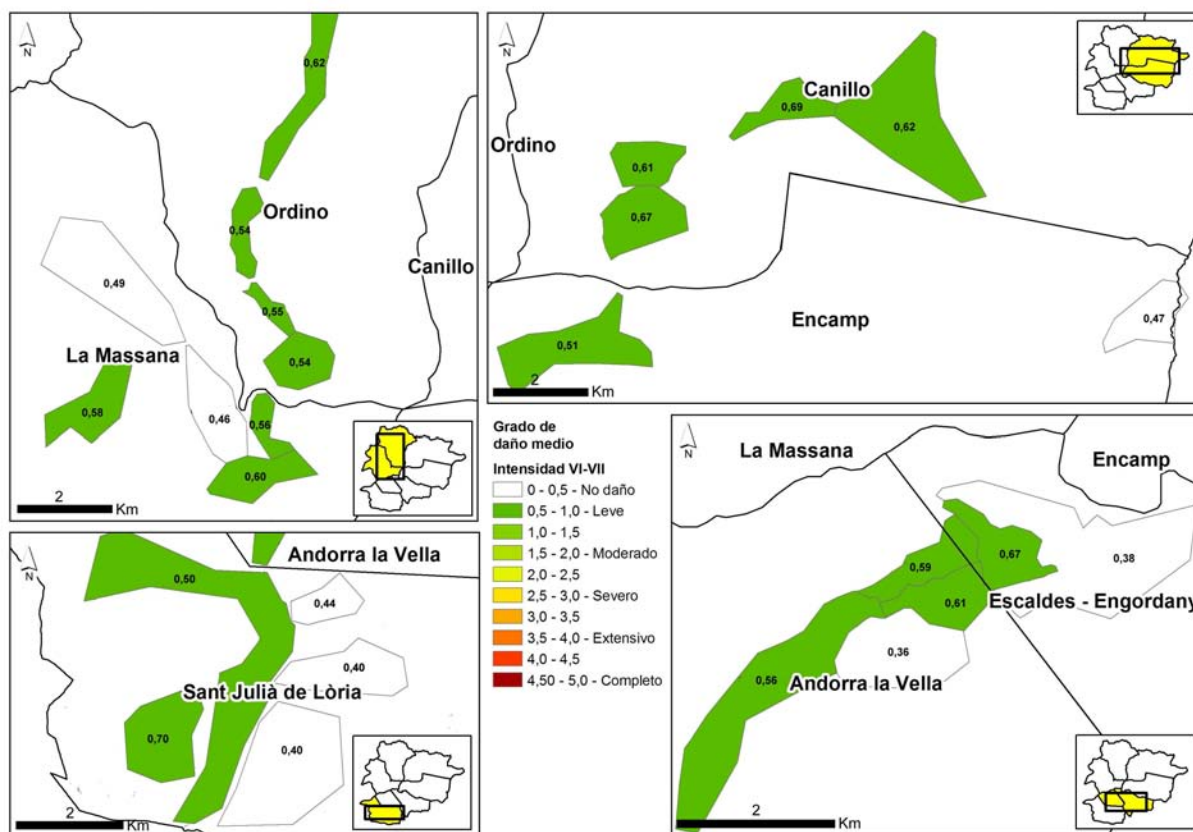


Figura 7.10. Grado de daño medio por polígono para el escenario determinista considerado.

La parroquia con un grado de daño medio más bajo es la parroquia de *Escaldes-Engordany* con un valor de 0,47, para este escenario 56 personas resultarían sin hogar y no tendríamos que lamentar ninguna víctima. La parroquia con un grado de daño medio mayor sería la parroquia de *Canillo* un valor de 0,63, 55 personas resultarían sin hogar y tampoco tendríamos que lamentar víctimas. Por polígonos, el que tiene el grado de daño medio más bajo es el polígono de *la Comella*, con un valor de 0,36 y el de valor más alto el de *Els Plans - Ransol - L'Aldosa* con un valor de 0,69.

Según la metodología de la ATC-13, por polígonos, sólo se produciría una víctima mortal en *Escaldes Centro*. En la Figura 7.11 se representa, el número de personas que quedarían sin hogar. Los polígonos con mayor número serían: *Encamp*, *Andorra*, *Andorra-Santa Coloma* con alrededor de 100. Para todo el Principado se tendrían alrededor de 700 personas sin hogar que corresponden al 1% de la población. Los heridos leves no superarían las 100 personas en todo el Principado.

La metodología de Coburn y Spence (1992) no hace previsible víctimas dado que no es probable que haya ningún edificio colapsado.

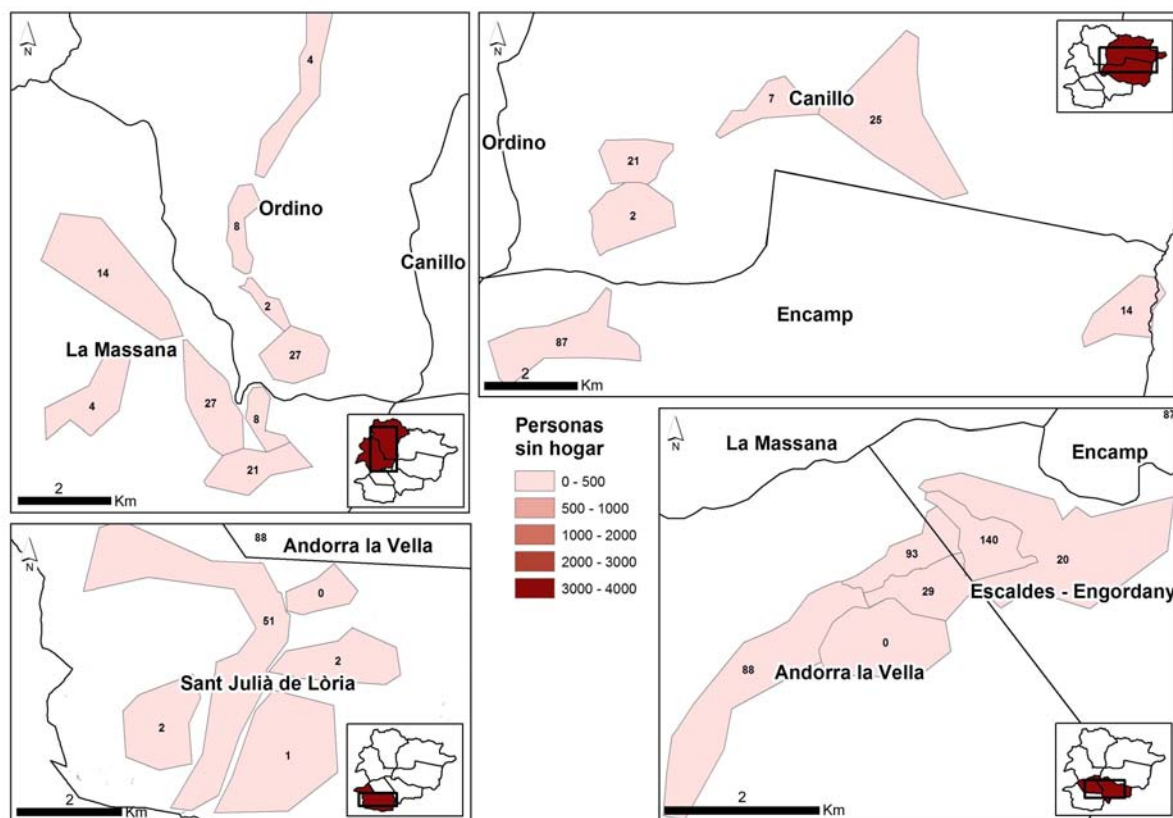


Figura 7.11. Distribución de las personas sin hogar para el escenario determinista considerado, según ATC-13.

7.3.2.2 Estimación de daños a partir del mapa probabilista de período de retorno de 475 años

En la Figura 7.12 y Tabla 7.6 se presenta el grado de daño medio para el mapa probabilista con periodo de retorno de 475 años. Este mapa asigna una intensidad VII al Principado. Se puede observar que el grado de daño medio para este caso predice valores de daño leves a leves-moderados.

La distribución de los grados de daño para cada polígono se presenta en el Anexo 6 (Tabla A6.3). Según la relación de la Tabla 7.1, que clasifica el daño en función de los porcentajes de grados de daños presentes en un polígono, se producen daños ligeros y moderados. Para todos los polígonos el grado de daño 0 está representado como mínimo por el 50% de los edificios. Como edificios inhabitables, el polígono de *la Massana - Escàs* es el polígono que más edificios tiene, con 96 edificios inhabitables. El 3% de los edificios del Principado quedarían inhabitables.

La parroquia con un grado de daño medio más bajo es la parroquia de *Escaldes-Engordany* con un valor de 0,68, para este escenario 150 personas resultarían sin hogar y tendríamos que lamentar únicamente una víctima. La parroquia con un grado de daño medio mayor sería la parroquia de *Canillo* un valor de 0,90, sin hogar resultarían 138 personas y también tendríamos que lamentar una víctima. Por polígonos, el que tiene el grado de daño medio más bajo es el polígono de *la Comella*, con un valor de 0,53 y el de valor más alto el de *Els Plans - Ransol - L'Aldosa* con un valor de 0,98.

Capítulo 7. Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de andorra

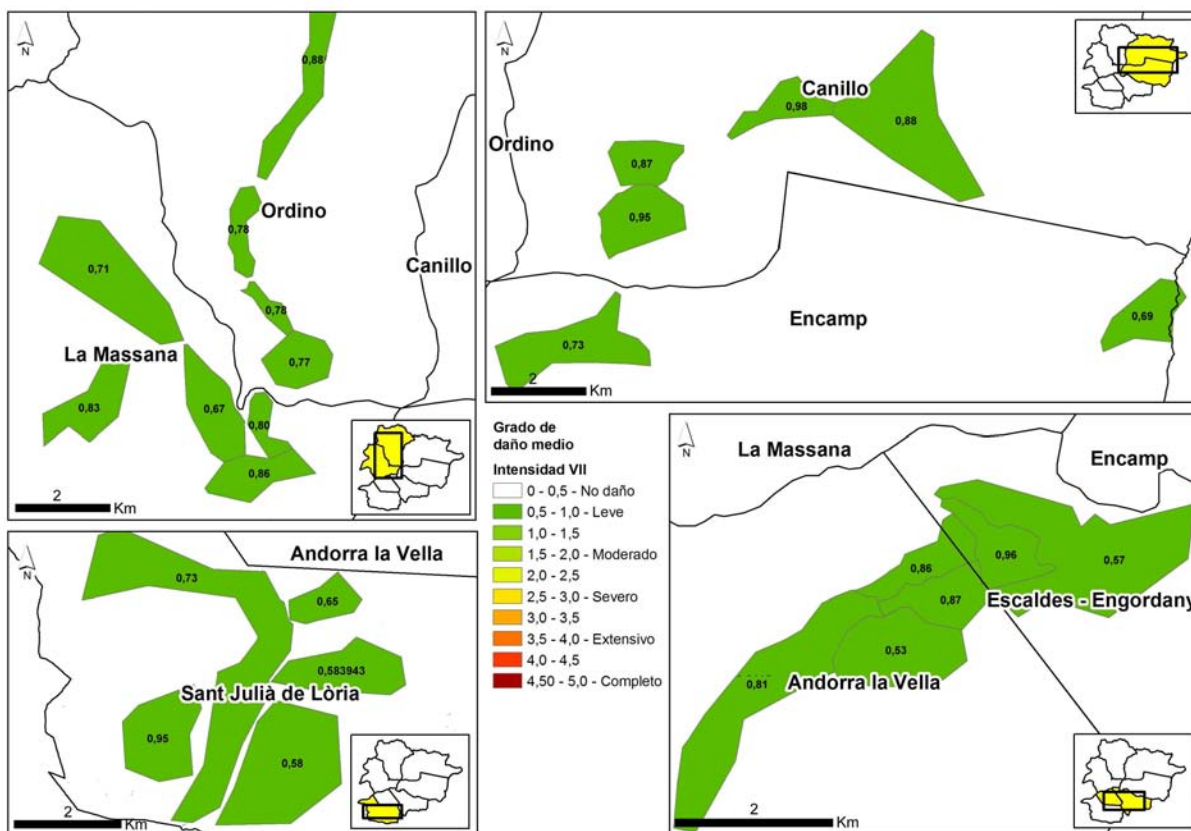


Figura 7.12. Grado de daño medio por polígono a partir del mapa probabilista con $T=475$ años.

Según la metodología de ATC-13 por polígono se producirían muy pocas víctimas mortales, no superando las 5 personas por polígono. En la Figura 7.13 se muestran las personas sin hogar, sólo en cinco de los polígonos se superarían las 200 personas sin hogar. Para todo el Principado se tendrían alrededor de 2.000 personas sin hogar que corresponden al 3% de la población del Principado.

La metodología de Coburn y Spence (1992) sólo se ha aplicado a los polígonos de *Canillo - El Vilar* y *la Massana - Escàs*, donde quedarían atrapadas 3 y 5 personas respectivamente.

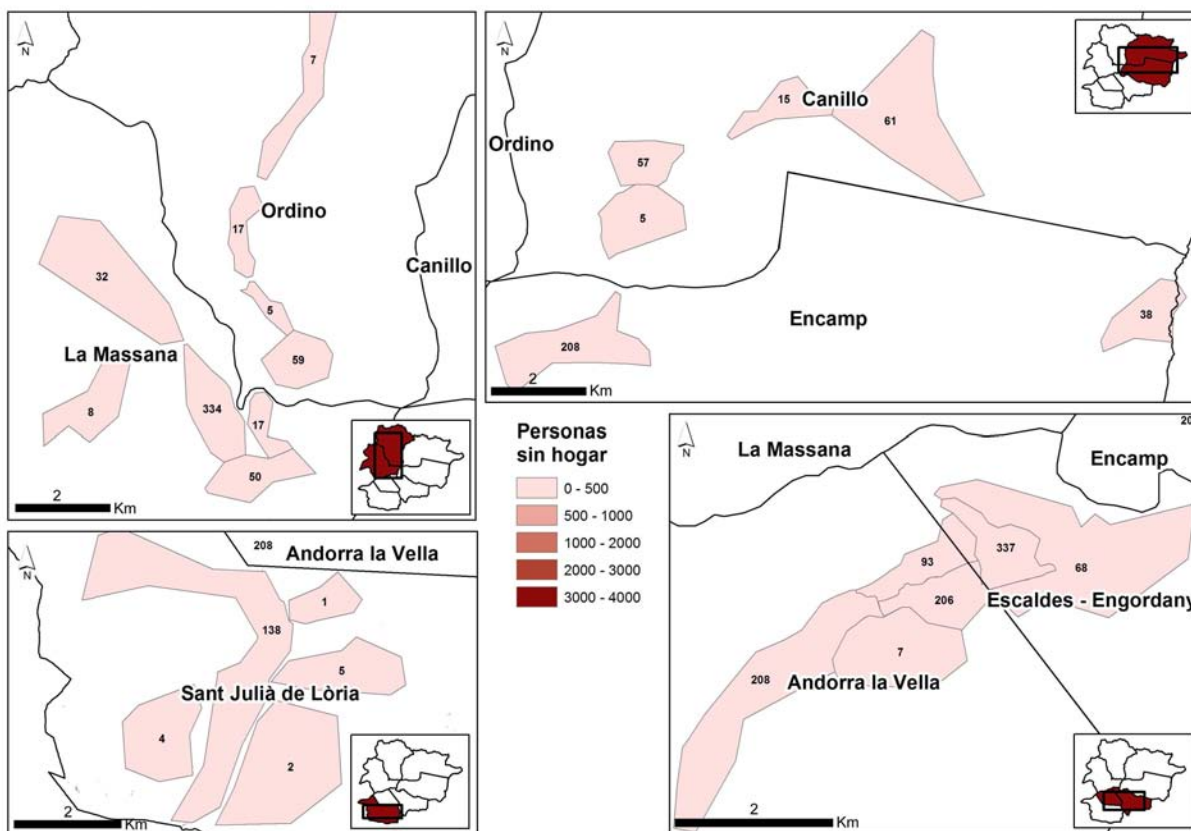


Figura 7.13. Distribución de las personas sin hogar a partir del mapa probabilista (T= 475años), según ATC-13.

7.3.2.3 Estimación de daño a partir del mapa probabilista de período de retorno de 1975 años

En la Figura 7.14 y Tabla 7.6 se presenta el grado de daño medio para el escenario probabilista con periodo de retorno de 1975 años. Este mapa asigna una intensidad VIII al Principado. Se puede observar que el grado de daño medio en este caso asigna valores de daños leves, leves-moderados y moderados.

La distribución de los grados de daño para cada polígono se presenta en el Anexo 6 (Tabla A6.3). Según la relación de la Tabla 7.1, que clasifica el daño en función de los porcentajes de grados de daños presentes en un polígono, se producirían daños serios en casi todos los polígonos a excepción de algunos que los tendrían moderados.

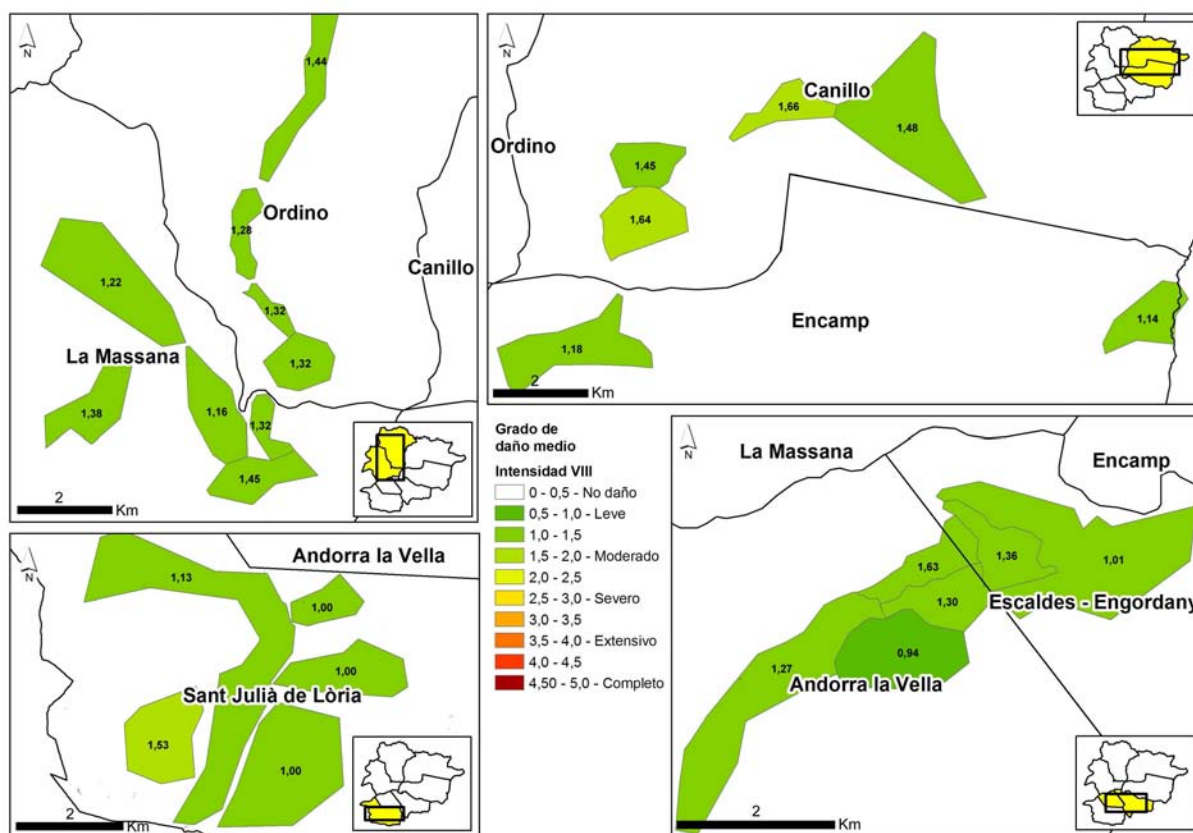


Figura 7.14. Grado de daño medio por polígono para el mapa probabilista con $T=1975$ años.

Los edificios sufrirían grados de daño 1 y 2 en el 60% de los edificios. Habría entre un 15-20% de los edificios con grado de daño 3. Alrededor de un 10% de los edificios sufriría grado de daño 4 y los edificios con grado de daño 5 serían del 1%. Como edificios inhabitables tendríamos el 11% de los edificios del Principado (Figura 7.15).

La parroquia con un grado de daño medio más bajo es la parroquia de *Escaldes-Engordany* con un valor de 1,09, para este escenario 779 personas resultarían sin hogar y tendríamos 7 víctimas. La parroquia con un grado de daño medio mayor sería la parroquia de *Canillo* un valor de 1,52, 779 personas resultaría sin hogar y 8 víctimas. Por polígonos, el que tiene el grado de daño medio más bajo es el polígono de *la Comella*, con un valor de 0,94 y el de valor más alto el de *Els Plans - Ransol - L'Aldosa* con un valor de 1,67.

En la Figura 7.16 se muestra el número de personas sin hogar. En todo el Principado se tendrían alrededor de 8.300 personas. Según la metodología ATC-13 se producirían alrededor de 100 víctimas mortales, no superando las 20 víctimas por polígono. Como heridos de carácter leve y grave se producirían un 2,3 % de la población residentes en el país.

Capítulo 7. Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de andorra

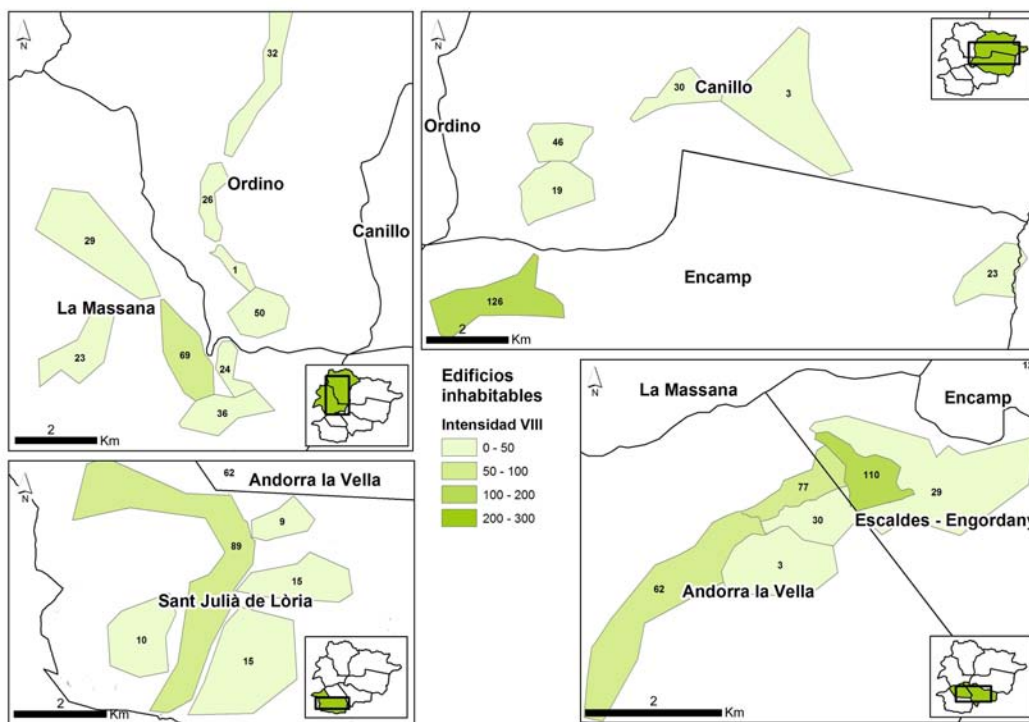


Figura 7.15. Distribución de edificios inhabitables a partir del mapa probabilista (T=1975 años), en número de edificios.

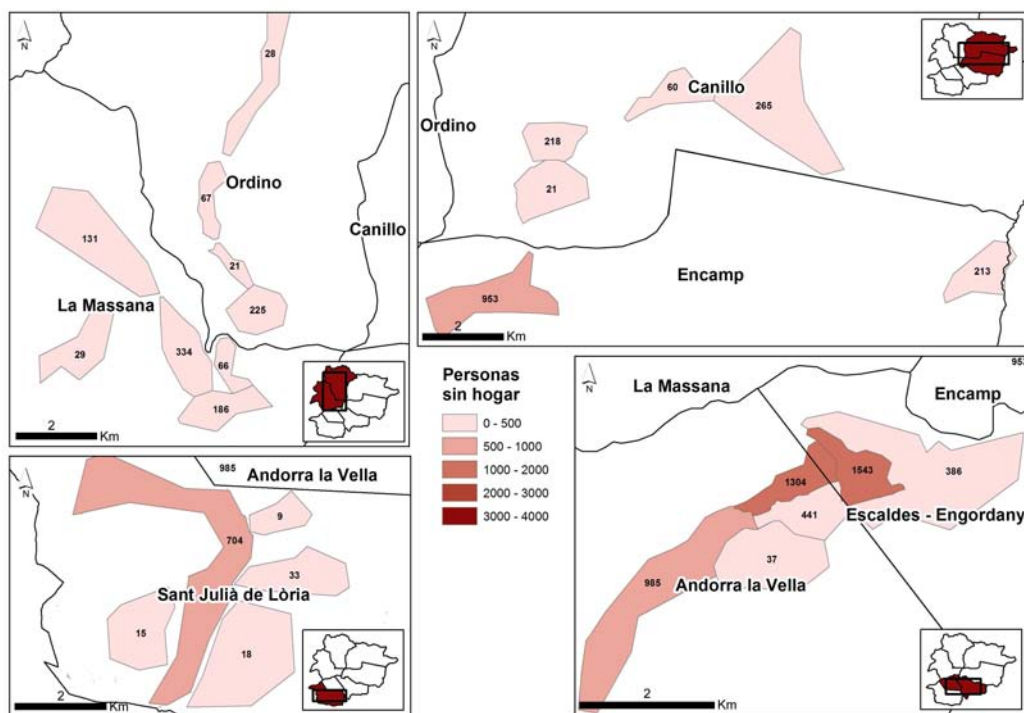


Figura 7.16. Distribución de personas sin hogar a partir del mapa probabilista (T=1975 años), en número de edificios, según ATC-13.

Tabla 7.6. Grados de daño medio por polígono y por parroquia para cada uno de los escenarios de daño escogidos.

Polígonos/ Parroquias	Grado de daño medio		
	Determinista	Probabilista (T=475)	Probabilista (T=1975)
El Forn - Prats - Meritxell	0,67	0,95	1,64
Canillo - El Vilar	0,61	0,87	1,45
Els Plans - Ransol - L'Aldosa	0,69	0,98	1,67
Soldeu - Tarter - Incles	0,62	0,88	1,48
P. Canillo	0,63	0,90	1,52
Encamp	0,51	0,73	1,18
Pas de la Casa	0,47	0,69	1,14
P. Encamp	0,50	0,72	1,17
Ordino - Segudet	0,54	0,77	1,32
Sornàs - Ansalonga	0,55	0,78	1,32
La Cortinada - Arans	0,55	0,78	1,28
El Serrat - Llorts	0,62	0,88	1,44
P. Ordino	0,56	0,80	1,34
Aldosa	0,56	0,80	1,32
Sispony - Anyos	0,61	0,86	1,45
La Massana - Escàs	0,46	0,67	1,16
Arinsal - Erts	0,49	0,71	1,22
Pal - Xixerella	0,58	0,83	1,38
P. la Massana	0,51	0,73	1,25
Andorra - Santa Coloma	0,56	0,81	1,27
Andorra	0,59	0,86	1,63
Eixample Andorra	0,61	0,88	1,30
La Comella	0,36	0,53	0,94
P. Andorra la Vella	0,58	0,83	1,42
Nagol - Certers - Llumeneres	0,44	0,65	1,00
Sant Julià - Bixessarri- Aixovall	0,50	0,73	1,13
Aixirivall	0,40	0,58	1,00
Aubinya - Juberrí	0,40	0,58	1,00
Fontaneda	0,68	0,95	1,53
P. Sant Julià de Lòria	0,47	0,68	1,09
Escaldes-Centro	0,68	0,96	1,36
Engordany - Engolasters	0,38	0,57	1,01
P. Escaldes-Engordany	0,55	0,79	1,21

7.3.3 Pérdidas económicas

Los datos respecto a las pérdidas económicas que aquí se presentan son puramente orientativos debido a la falta de datos reales de sismos en la zona, están basados, para el cálculo del número de viviendas por edificio, en las aproximaciones explicadas en el apartado 2.3 de este capítulo.

Los resultados referentes a las estimaciones de las pérdidas económicas generadas como consecuencia del daño provocado a las edificaciones por la acción sísmica considerada se presentan en la tabla 7.7. Por una parte se presentan las pérdidas directas, calculadas partir de la expresión 7.3, que relaciona el grado de daño físico con la pérdida económica; y por otra se presenta el valor de reposición, entendido como la inversión necesaria para rehabilitar todos los edificios con los diferentes grados de daño. Finalmente se presenta la inversión que sería necesaria para rehabilitar los edificios inhabitables utilizando como método de evaluación de la vulnerabilidad el de índices de vulnerabilidad.

Tabla 7.7. Pérdidas económicas para los tres escenarios sísmicos escogidos, utilizando como método de evaluación de la vulnerabilidad el de índices de vulnerabilidad..

	Escenario determinista	Escenario probabilista (T=475 años)	Escenario probabilista (T=1975 años)
Valor de reposición	3.334 Millones de Euros	3.985 Millones de Euros	5.097 Millones de Euros
Pérdidas directas	433 Millones de Euros	592 Millones de Euros	1.167 Millones de Euros
Inversión en la rehabilitación de edificios inhabitables	94 Millones de Euros	152 Millones de Euros	518 Millones de Euros

7.4 Escenarios para la *cabeta de Andorra* teniendo en cuenta efectos de suelo

Las parroquias de Andorra la Vella y Escaldes-Engordany, situadas en la *cabeta de Andorra*, poseen más del 50% de la población de todo el país (39.665 personas). La microzonación de la cubeta según Macau *et al.* (2006, 2008) indica que la intensidad podría aumentar en algún punto de la zona en grado y medio (Figura 7.17). Estos aumentos de intensidad, más el hecho de que ni en el pasado ni en la actualidad haya ninguna legislación que obligue a utilizar una normativa sismorresistente en el cálculo de las estructuras, indica que incluso terremotos de intensidad básica moderada podrían provocar pérdidas importantes.

En este apartado se realiza la cuantificación de la variación de daños que podría producir un terremoto al tener en consideración la variación del movimiento del suelo en una zona. La cuantificación sólo se ha podido realizar en la zona de la *cabeta de Andorra*, ya que es la única zona del país donde se dispone de una microzonación sísmica detallada.

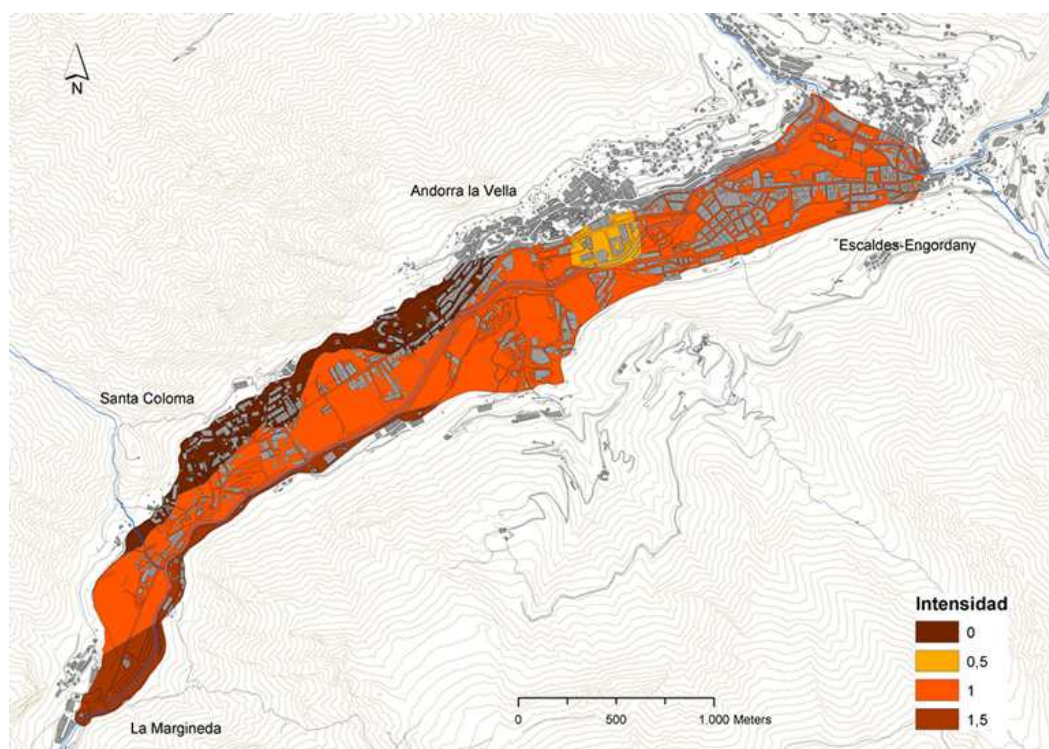


Figura 7.17. Microzonación sísmica de la cubeta de Andorra la Vella - Escaldes Engordany en términos del incremento de intensidad respecto al valor de un suelo de referencia (Macau et al., 2006, 2008).

Para calcular el área que corresponde a cada aumento de intensidad por polígono se cruzó el mapa de microzonación con el de polígonos y se determinó el área del polígono al que le correspondía cada aumento de intensidad (Figura 7.18). Los porcentajes de área para cada zona se muestran en la Tabla 7.8. Como resultados a un 83% del área microzonada le corresponde un aumento de intensidad que va desde un grado a un grado y medio.

Tabla 7.8. Distribución del área del polígono con los incrementos de intensidad asignados por el mapa de microzonación sísmica.

% área		PSZ1	PPSZ2	PSZ3	PEZ4
Incremento intensidad		0	0.5	1	1.5
Polígonos	Andorra-Santa Coloma	57	--	34	9
	Andorra	100	--	--	--
	Eixample Andorra	29	12	59	--
	La Comella	70	--	30	--
	Escaldes Centro	53	--	47	--
	Engodany-Engolasters	100	--	--	--

En la Tabla 7.9 se muestra la distribución del porcentaje de edificios asociado a cada tipología por polígono.

Tabla 7.9. Distribución del porcentaje de edificios que corresponden a cada tipología constructiva.

Polígono	M 1.1	M 3.1	M 3.4	RC 3.1	S 1
Andorra-Santa Coloma	6	14	17	57	6
Andorra	2	26	30	42	0
Eixample Andorra	0	13	20	60	7
La Comella	0	11	11	63	15
Escaldes Centro	7	32	26	34	1
Engodany-Engolasters	0	11	11	78	0

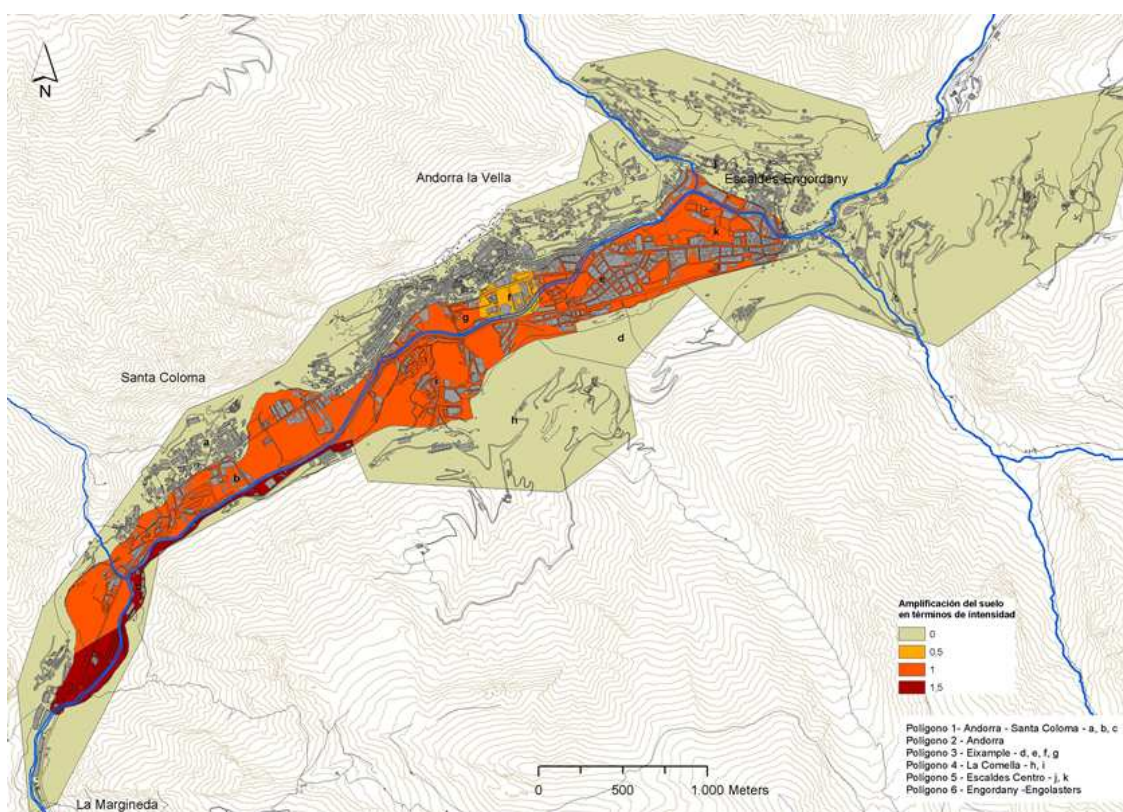


Figura 7.18. Cruce de los polígonos de la cubeta con el mapa de microzonación sísmica.

Para cada escenario y para cada zona se ha calculado la intensidad para tener en cuenta los efectos de suelo (Tabla 7.10). Por ejemplo, para el escenario probabilista con periodo de retorno de 1975 años, si se consideran los efectos de suelo, a la Zona 1 se le asignaría la misma intensidad de referencia, esta zona no tiene efectos de suelo. A la Zona 2 se le asigna una intensidad VIII-IX, significando que en esta zona la intensidad aumentaría medio grado. A la Zona 3 le correspondería un aumento de intensidad de un grado, así pasaría de una intensidad VIII a IX por los efectos de suelo. Por último, en la Zona 4, la intensidad sería IX-X, en esta zona la intensidad habría aumentado en grado y medio respecto su intensidad de base.

Tabla 7.10. Intensidades asignadas a las diferentes zonas para cada escenario.

Escenarios	Valor de referencia	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Determinista	VI-VII	VI-VII	VII	VII-VIII	VII-VIII
Probabilista (T=475 años)	VII	VII	VII-VIII	VIII	VIII
Probabilista (T=1975 años)	VIII	VIII	VIII-IX	IX	IX-X

7.4.1 Daño a los edificios de la *cubeta de Andorra* considerando efectos de suelo

En la Figura 7.19 y Tabla 7.11 se presenta la comparación de los grados de daño medio obtenidos para cada escenario teniendo en consideración los efectos de suelo y sin tenerlos.

Si se tiene en consideración los efectos de suelo para el escenario determinista en las dos parroquias pasaríamos de no tener daño a tener un grado de daño leve. Para el escenario probabilista con período de retorno de 475 años pasaríamos de un grado de daño leve a uno leve-moderado para la parroquia de *Andorra la Vella* . La parroquia de Escaldes-Engordany tanto si se tiene en consideración los efectos de suelo como no tendría un grado de daño leve. El escenario de daño probabilista con período de retorno de 1975 años, para la parroquia de *Andorra la Vella* pasaría de tener un grado de daño leve-moderado a uno moderado. Sin embargo la parroquia de Escaldes-Engordany para ambos escenarios seguiría teniendo un daño leve-moderado.

Tabla 7.11. Comparación de los Grados de daño medio obtenidos teniendo en consideración los efectos de suelo y sin tenerlos en consideración.

Polígonos/ Parroquias	Determinista		Probabilista (T=475)		Probabilista (T=1975)	
	Sin efectos suelo	Con efectos suelo	Sin efectos suelo	Con efectos suelo	Sin efectos suelo	Con efectos suelo
Andorra - Santa Coloma	0,56	0,85	0,81	1,17	1,27	2,01
Andorra	0,59	0,59	0,86	0,86	1,63	1,63
Eixample Andorra	0,61	1,01	0,88	1,17	1,30	1,82
La Comella	0,36	0,48	0,53	0,65	0,94	1,16
<i> P. Andorra la Vella </i>	0,58	0,75	0,83	1,02	1,21	1,79
Escaldes-Centro	0,68	0,98	0,96	1,15	1,36	1,71
Engordany - Engolasters	0,38	0,38	0,57	0,57	1,01	1,01
<i> P. Escaldes-Engordany </i>	0,55	0,72	0,79	0,89	1,21	1,40

Por polígonos el que alcanzaría grados de daño mayores sería el de *Andorra-Santa Coloma* con valores grado de daño medio de 2,01, podríamos tener daños de moderados a severos. Los polígonos de *Andorra* y Engordany-Engolarsters no sufren modificaciones en el grado de daño ya que su emplazamiento no está afectado por efectos de suelo.

Capítulo 7. Estimación de daños a los edificios de vivienda y personas en el Principado de Andorra

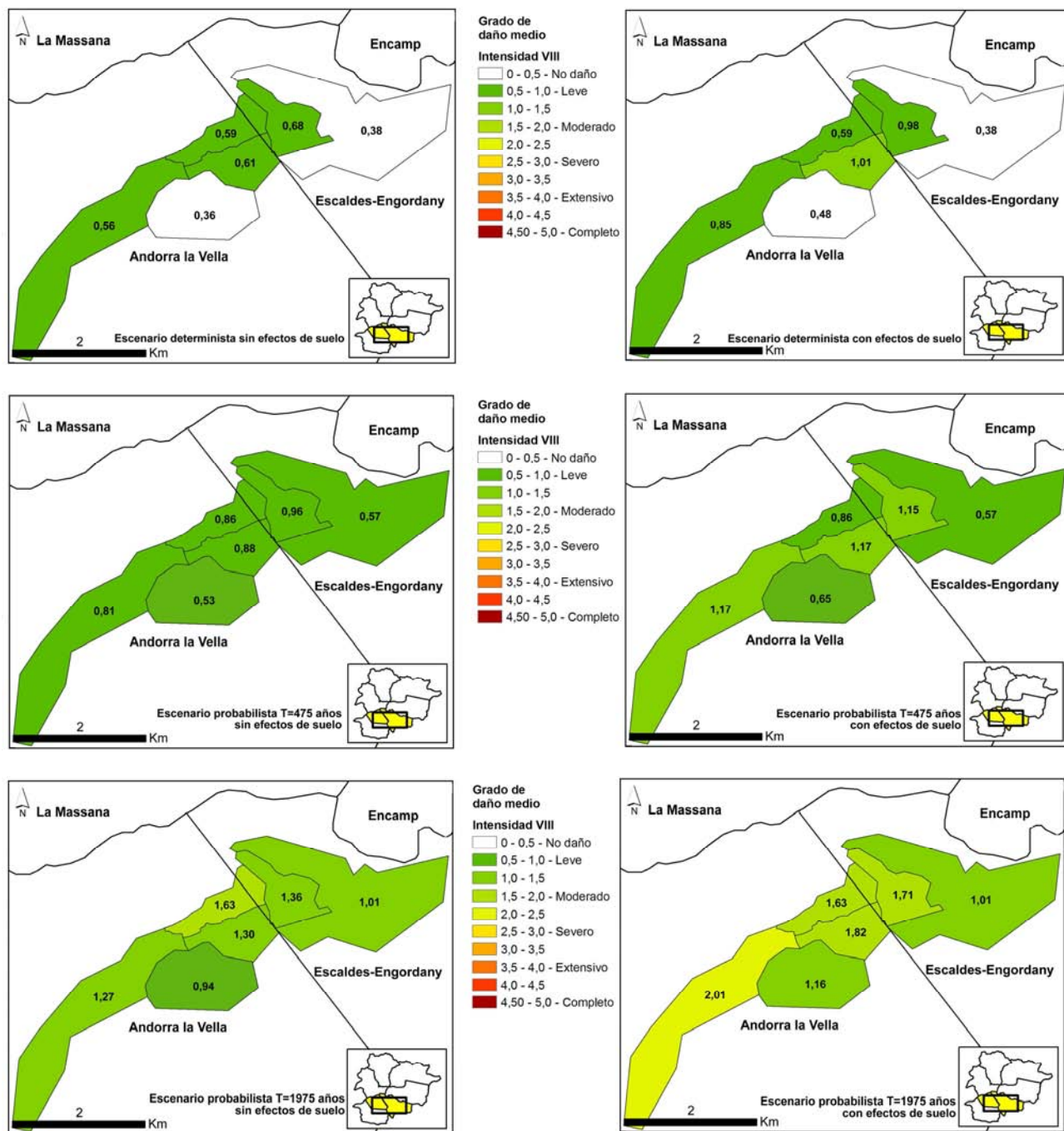


Figura 7.19. Grados de daño medio para los distintos escenarios.

En la Tabla 7.12 se presentan las estimaciones de daños obtenidas teniendo en cuenta los efectos de suelo. Por ejemplo, como edificios inhabitables la *cupeta de Andorra* podría tener un 2% para el escenario determista, un 5% para el escenario probabilista con período de retorno de 475 años y un 19% para el escanario determinista con período de retorno de 1975 años.

Tabla 7.12a. Resultados del escenario determinista usando la metodología de los índices de vulnerabilidad, considerando los efectos de suelo.

Escenario determinista								
Población	Nº Edificios	D0 (%)	D1 (%)	D2 (%)	D3 (%)	D4 (%)	D5 (%)	Edificios inhabitables (%)
Escaldes- Engordany	1.187	58	26	11	4	1	0	3
Andorra la Vella	1.363	55	29	12	4	1	0	2
Total	2.550	56	27	11	4	1	0	2

Tabla 7.12b. Resultados considerando los mapas probabilistas usando la metodología de los índices de vulnerabilidad, considerando los efectos de suelo.

Escenario probabilista (T=475)								
Población	Nº Edificios	D0 (%)	D1 (%)	D2 (%)	D3 (%)	D4 (%)	D5 (%)	Edificios inhabitables (%)
Escaldes- Engordany	1.187	44	30	17	7	2	0	6
Andorra la Vella	1.363	39	34	19	7	2	0	5
Total	2.550	41	32	18	7	2	0	5

Tabla 7.12c. Resultados considerando los mapas probabilistas usando la metodología de los índices de vulnerabilidad, considerando los efectos de suelo.

Escenario probabilista (T=1975)								
Población	Nº Edificios	D0 (%)	D1 (%)	D2 (%)	D3 (%)	D4 (%)	D5 (%)	Edificios inhabitables (%)
Escaldes- Engordany	1.187	17	29	26	18	8	2	19
Andorra la Vella	1.363	12	29	30	20	8	1	20
Total	2.550	14	29	28	19	8	1	19

7.4.2 Daño a la población

El escenario determinista definido por un terremoto análogo al ocurrido en 1428 (intensidad epicentral IX) podría dejar sin hogar a alrededor de 1.000 personas en la cubeta y unas 200 víctimas. El peor escenario de los presentados (correspondiente a la consideración del mapa probabilista de T=1975) podría dejar a un 10% de personas del país sin hogar y numerosas víctimas, considerando heridos leves graves y muertos. En la Tabla 7.13 se presentan para los tres escenarios escogidos la distribución de personas sin hogar y víctimas.

Tabla 7.13. Distribución de las personas sin hogar y heridos para los diferentes escenarios, según ATC-13. Usando el método del índice de vulnerabilidad y teniendo en cuenta los efectos de suelo.

Escenarios	Parroquias	Personas sin hogar	Víctimas
Determinista	Escaldes- Engordany	440	98
	Andorra la Vella	584	85
Probabilista de T=475	Escaldes- Engordany	942	193
	Andorra la Vella	1271	238
Probabilista de T=1975	Escaldes- Engordany	3096	885
	Andorra la Vella	4687	1246

Para ver cómo influyen los efectos de suelo en el cálculo de víctimas, se han comparado los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de índices de vulnerabilidad y de ATC-13 (Tabla 7.14). Se puede observar que las personas que resultarían sin hogar considerando los efectos de suelo son de más del doble. Estos resultados son significativos, y ponen de manifiesto la importancia de incorporar en la peligrosidad sísmica los efectos de suelo a la hora de realizar estimaciones de daño a los edificios y a la población, y que además éstos deberían ser incorporados en la realización de los diferentes escenarios para la prevención y planificación de la emergencia.

Tabla 7.14. Distribución de las personas sin hogar según ATC-13, usando el método del índice de vulnerabilidad, con y sin efectos de suelo.

	Personas sin hogar (sin efectos suelo)	Personas sin hogar (con efectos suelo)
Escenario determinista		
Escaldes- Engordany	160	440
Andorra la Vella	210	584
Mapa probabilista de T=475		
Escaldes- Engordany	405	942
Andorra la Vella	514	1.271
Mapa probabilista de T=1975		
Escaldes- Engordany	1.929	3.096
Andorra la Vella	2.767	4.687

7.5 Comparación de las metodologías de evaluación del daño a los edificios

Si se comparan los resultados de la aplicación de las dos metodologías de evaluación de la vulnerabilidad, en clases de vulnerabilidad e índices de vulnerabilidad, para el escenario determinista (Tabla 7.15), se observa que el porcentaje de edificios sin daños (grado de daño 0) es mayor si utilizamos el método de índices de vulnerabilidad. Por ejemplo los resultantes obtenidos

para los edificios inhabitables usando como método de evaluación de la vulnerabilidad el de clases de vulnerabilidad da porcentajes más elevados, la parroquia de *Canillo* podría tener un 6% de edificios inhabitables frente al 4% que asignaría el método de los índices de vulnerabilidad. Ambas metodologías asignarían el mismo porcentaje para el grado de daño 5. Los grados de daño 1, 2, 3 y 4 serían inferiores utilizando el método de índices de vulnerabilidad.

Tabla 7.15. Comparación de las distribuciones de los grados de daños de los edificios para el escenario determinista con periodo de retorno de 475 años, para las parroquias del Principado (en %).

	Clases de Vulnerabilidad (%)						Índices de Vulnerabilidad (%)							
	D0	D1	D2	D3	D4	D5	Ed_inh	D0	D1	D2	D3	D4	D5	Ed_inh
Canillo	32	36	22	8	2	0	6	47	31	16	6	1	0	4
Encamp	35	37	20	7	1	0	5	56	29	11	3	1	0	2
Ordino	35	37	20	7	1	0	5	54	28	13	5	1	0	3
La Massana	37	37	19	6	1	0	4	40	33	18	7	2	0	6
Andorra la Vella	33	37	21	7	2	0	5	47	34	14	4	1	0	3
Sant Julià de Lòria	37	38	18	6	1	0	4	58	29	10	3	0	0	2
Escaldes-Engordany	31	37	22	8	2	0	6	51	31	13	4	1	0	2

En la Figura 7.16 se observa que las distribuciones están centradas en los daños 0 y 1 indicando que predominan, para este escenario, los daños ligeros. El método de índices de vulnerabilidad da más grados de daño 0, menos grados de daño 1, 2, 3 y los grados de daño 4 y 5 son parecidos. Las diferencias de los resultados entre estas dos metodologías pueden ser debidas a la distribución de las vulnerabilidades en clases y en índices de vulnerabilidad, que como se ha visto anteriormente, la metodología del índice de vulnerabilidad muestra una vulnerabilidad más baja del parque de edificios. Por lo tanto, los daños también son inferiores.

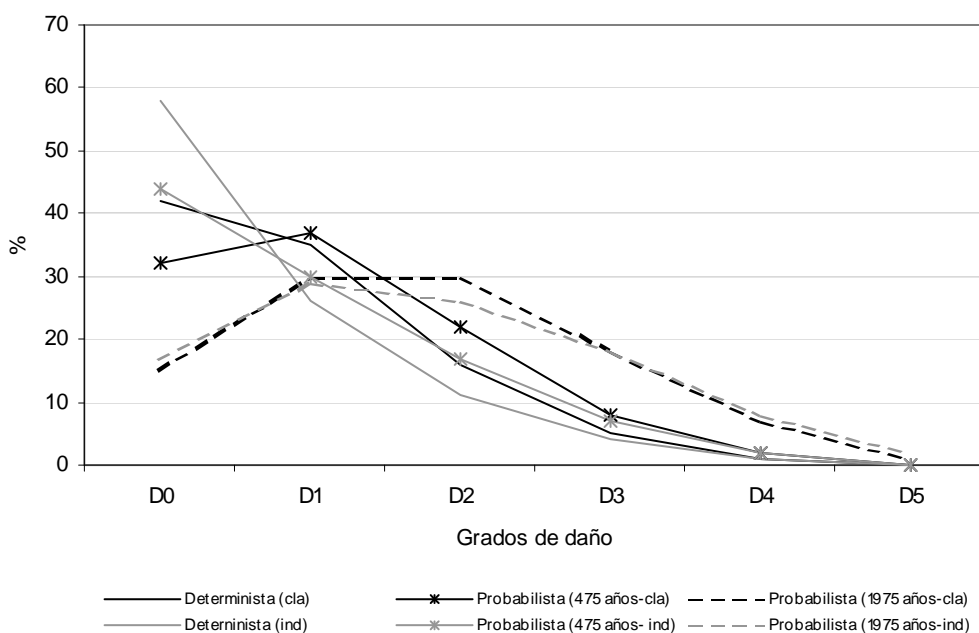


Figura 7.16. Comparación de los grados de daños de los edificios (en %) para los diferentes escenarios y con las diferentes metodologías para la parroquia de Escaldes-Engordany.

7.6 Resumen y discusión

En este capítulo se han presentado los resultados de las diferentes estimaciones de daño obtenidos de la aplicación de dos metodologías de evaluación de la vulnerabilidad y de los tres escenarios sísmicos escogidos: uno determinista, definido por un terremoto análogo al ocurrido en 1428 en el *Ripollès (Girona)* y dos probabilistas, con periodo de retorno de 475 y 1975 años.

La evaluación del daño físico a las edificaciones se ha realizado de manera estadística. Para calcular el daño a los edificios según la metodología de clases de vulnerabilidad se han utilizado las matrices de probabilidad de daño (Roca *et al.*, 2006) que se obtuvieron del análisis estadístico de los datos de daños recogidos después del terremoto de Irpinia ($M_w=6.9$), ocurrido el 23 de noviembre de 1980 en el Sur de Italia. Para el método del índice de vulnerabilidad se han usado las funciones de vulnerabilidad que relacionan el grado de daño medio con la intensidad macrosísmica y con el índice de vulnerabilidad. También se ha calculado el grado de daño medio, que está relacionado con el estado de daño más probable. Ambas metodologías utilizan seis grados de daño, que van desde grado 0, que corresponde a no daño; a daño 5 que indica el colapso total de la edificación y definen la acción sísmica mediante la intensidad macrosísmica.

Los escenarios de daño a la población se han realizado teniendo en cuenta la población residente (censada) en el Principado y considerando que el terremoto se produce de noche. Las metodologías escogidas para la estimación de las víctimas son la metodología ATC-13 (1985) y la propuesta por Coburn y Spence (1992), la primera tiene en cuenta todos los grados de daño de los edificios y la segunda sólo tiene en cuenta los edificios colapsados.

Como resultados más significativos para los escenarios calculados mediante la evaluación de la vulnerabilidad en clases de vulnerabilidad se obtendrían: para el escenario determinista daños ligeros para el conjunto de los edificios del Principado, y para los escenarios con base a los mapas probabilistas con periodo de retorno de 475 y 1975 años se producirían daños moderados y serios respectivamente para el conjunto de los edificios. Como edificios inhabitables resultarían un 3%, 5% y 15% del conjunto de los edificios del Principado respectivamente.

Como resultados de los escenarios calculados mediante la evaluación de la vulnerabilidad según índices de vulnerabilidad se obtendrían como valores de grado de daño medio: para el escenario determinista, daños leves para el conjunto de los edificios; y para los escenarios probabilistas con periodo de retorno de 475 y 1975 años se producirían daños de leves a moderados y de leve-moderados a moderados respectivamente. Como edificios inhabitables resultarían un 1%, 3% y 11% del conjunto de los edificios del Principado respectivamente.

En el Anexo 6 se muestran de forma detallada los valores obtenidos de los escenarios de daños a los edificios de vivienda y a la población, para los diferentes escenarios sísmicos, para las diferentes metodologías utilizadas y para las diferentes unidades de estudio. Esta información puede ser de gran utilidad a los gestores de la emergencia para su prevención, preparación, planificación y gestión.

Se han comparado ambas metodologías usando un escenario sísmico probabilista con periodo de retorno de 475 años. Se observa que las distribuciones están centradas en los daños 0 y 1 indicando que predominan para este escenario, los daños ligeros. La metodología del índice de vulnerabilidad refleja un porcentaje menor de los grados de daños 3, 4 y 5, que el obtenido mediante la metodología de clases de vulnerabilidad.

Por último, se presentan, para la *cubeta de Andorra*, los escenarios teniendo en cuenta los efectos de suelo. Según la microzonación sísmica (Macau, 2008) a un 83% del área microzonada de la cubeta le corresponde un aumento de intensidad que va desde un grado a grado y medio. Estos aumentos de intensidad, más el hecho de que en la actualidad no haya ninguna legislación que obligue a utilizar una normativa sismorresistente en el cálculo de las estructuras, indica que incluso terremotos de intensidad básica moderada podrían provocar pérdidas importantes.

Analizando el daño a la población, las personas que resultarían sin hogar considerando los efectos de suelo son más del doble que si no se tienen en cuenta. Estos resultados son importantes, y ponen de manifiesto la relevancia de incorporar en la peligrosidad sísmica los efectos de suelo a la hora de realizar estimaciones de daño a los edificios y a la población y que además, esta información debería ser incorporada en la realización de los diferentes escenarios para una buena prevención y planificación de la emergencia.

8 Resumen, conclusiones y recomendaciones

8.1 Introducción

Este capítulo sintetiza las aportaciones más relevantes de este trabajo y los resultados más importantes que se derivan de los análisis realizados. Asimismo propone una serie de trabajos para avanzar en el conocimiento del riesgo sísmico en el país.

Tanto las conclusiones como las propuestas de trabajos futuros se presentan agrupadas según los objetivos definidos en el primer capítulo de esta memoria.

8.2 Resumen y conclusiones

8.2.1 Metodología para la elaboración de bases de datos de edificios de vivienda para la realización de estudios de vulnerabilidad sísmica.

A partir del trabajo realizado se propone una metodología general para la creación de bases de datos de edificios de vivienda que posibilitan la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en zonas donde no se dispone de esta información. Las bases de datos de edificación propuestas tienen la particularidad respecto a las de los países que cuentan con catastro, que únicamente contienen los parámetros necesarios para la aplicación de los métodos de evaluación escogidos, es decir, son bases de datos hechas a medida de este trabajo. Por lo tanto, un cambio de metodología probablemente requerirá modificar la base de datos para recoger nuevos parámetros. Sin embargo la metodología aquí propuesta, tiene la ventaja que permite crear una nueva base de datos o adaptar o modificar la base de datos creada de forma relativamente rápida y sin tener que esperar la creación del catastro.

La metodología utilizada y propuesta consta de los siguientes pasos:

1º Análisis de los métodos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica existentes en la bibliografía y elección de las metodologías a aplicar en la zona de estudio. El objetivo de este primer paso es definir los parámetros sobre la edificación que son necesarios recoger para su aplicación.

2º Realización de un inventario de las cartografías temáticas (topográficas, geológicas, urbanas, etc.) y de los datos de edificación existentes en la región o en el país objeto de estudio.

3º Creación, a través de un Sistema de Información Geográfico (SIG), de una cartografía de base para implementar los datos de edificación recogidos.

4º Definición de las unidades de estudio y cálculo de la muestra representativa de los edificios que se tienen que encuestar.

5º Recopilación de los datos sobre la edificación (altura, edad, tipología estructural, uso del edificio, etc.) a través de campañas de campo, por comparación de fotografías aéreas de diferentes años, a partir de otros estudios existentes así como de información disponible en las administraciones locales y estatales.

6º Definición del modelo y estructura de la base de datos de edificación.

7º Introducción de los datos y validación de la base de datos.

8.2.2 Base de datos de edificación del Principado de Andorra

En base a la metodología propuesta en el apartado anterior y a falta de un catastro, se ha creado la base de datos de edificios de vivienda del Principado. Para su construcción se han usado diferentes procedimientos y diferentes fuentes que se resumen a continuación. Estudios existentes en la bibliografía, Información perteneciente a los Planes de Ordenación y Urbanismo Parroquial (POUP), comparación de fotografías aéreas de diferentes años, concretamente se han usado las fotografías aéreas de los vuelos de los años 1948, 1972 y 2003, visitas de campo y criterio experto.

La cartografía de base para la introducción de la información se ha creado en base a los 47 mapas de la cartografía oficial del *Govern d'Andorra* del año 1995, a escala 1:5.000, que cubren todo el Principado. Para su actualización se ha completado con la información extraída de los ortofotomapas del año 2003.

La implementación de la información en un SIG ha sido de gran utilidad a la hora de gestionar los datos de los 9.228 edificios y de su distribución adecuada en las unidades de estudio, parroquias y polígonos. El SIG además permite la creación de mapas temáticos de forma rápida y ágil, al igual que la incorporación de nueva información.

Se han creado dos bases de datos de edificación diferentes (Capítulo 4) en función de la metodología a utilizar, es decir, clases e índices de vulnerabilidad.

Actualmente la evaluación del riesgo sísmico en el Principado de Andorra sólo se puede llevar a cabo mediante las bases de datos creadas en este trabajo. Cuando se cree un catastro o alguno de los organismos de estadística existentes en el país asuma este papel, la base de datos debería incluir, como mínimo, los parámetros de los edificios que se han tenido en cuenta en este estudio para poder evaluar el riesgo sísmico del país, así como para la realización de escenarios de daños útiles para la gestión de la emergencia.

8.2.3 Metodologías utilizadas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del Principado de Andorra

A partir de las metodologías existentes a nivel mundial para llevar a cabo estudios de evaluación de la vulnerabilidad sísmica se han escogido dos: una basada en clases de vulnerabilidad (Chávez, 1998; Roca *et al.*, 2006) y otra, basada en índices de vulnerabilidad (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Giovinazzi, 2005). Estos dos métodos se han escogido porque se adecuan bien a los objetivos del trabajo y a las características de la región de estudio.

Ambos métodos coinciden en definir el movimiento del suelo mediante la intensidad macrosísmica EMS'98, lo que es adecuado en zonas donde la sismicidad es baja-moderada, y ambos coinciden en una forma sencilla de determinar el grado de daño esperado y las matrices de probabilidad de daño, pero difieren en la forma de caracterizar la resistencia sísmica de los edificios. El primero (Chávez, 1998; Roca *et al.*, 2006) define el edificio, o conjunto de edificios, mediante clases de vulnerabilidad; el segundo (Milutinovic y Trendafiloski, 2003; Giovinazzi, 2005) permite definir el edificio, o conjunto de edificios, mediante un índice de vulnerabilidad. En el primer método la asignación de un edificio o conjunto de edificios a una clase de vulnerabilidad es sencilla, directa y no requiere información detallada del edificio a evaluar, pero el nivel de resolución de los escenarios es menor, dado que los resultados se restringen a las 5 clases de vulnerabilidad previstas en la EMS'98. El segundo método permite clasificar cualquier edificio, o grupo de edificios, mediante un número, un índice que toma valores en un rango entre cero, para edificios muy resistentes, y la unidad, para edificios de muy mala calidad; de esta forma la calificación de edificios es más sofisticada y requiere un mayor conocimiento, frecuentemente experto, de sus características constructivas, geométricas y arquitectónicas ya que el método permite considerar cómo influyen en la vulnerabilidad, entre otros aspectos, la antigüedad de la construcción, el número de plantas y la geometría en planta y en altura. Por consiguiente, el método del índice de vulnerabilidad es más preciso y permite un mayor nivel resolución de los resultados, pero también es más costoso. En este trabajo se usan ambos métodos pues los dos permiten un tratamiento individualizado o estadístico de la información disponible. El primero ha sido de gran ayuda para una toma de datos orientada a la realización de un inventario estadístico de los edificios y ha permitido obtener una buena aproximación al riesgo sísmico del Principado y el segundo ha posibilitado el aumento del nivel de detalle y de resolución del estudio.

8.2.4 Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Los edificios del Principado se distinguen por ser en su mayoría edificios de pocas plantas (a excepción de la parroquia de Andorra la Vella que tiene alrededor del 40% de edificios con más de

5 plantas), y de reciente construcción (el 60% del parque de edificios de vivienda se ha construido a partir de los años 70). Respecto a las tipologías estructurales los edificios más frecuentes son de hormigón armado tipo, RC 3.1. Esta tipología constructiva se define como “*estructuras de hormigón con muros de relleno regulares de mampostería no reforzada*”. Entre el 40 y el 60% de los edificios de vivienda de las parroquias son de este tipo. Los edificios de mampostería tipo M 3.1 que se define como “*estructuras con muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de madera*” y los edificios tipo M 3.4 definidos como “*estructuras con muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losas de hormigón armado*” están representados por valores entre el 30 y el 15% dependiendo de la parroquia. La tipología menos representativa es la de mampostería tipo M1.1 que contiene las “*estructuras con muros de carga con mampostería de piedras*”.

Para la evaluación de la vulnerabilidad basada en las clases de vulnerabilidad de la escala EMS'98, se ha utilizado la misma distribución que la propuesta para Cataluña (Chávez, 1998) y para la evaluación de la vulnerabilidad mediante el método de índices de vulnerabilidad se ha desarrollado una distribución de las tipologías estructurales representativas de la zona en función del año de construcción y del número de plantas, a partir de visitas de campo y de criterio de experto. Los índices de vulnerabilidad se han asignado en función de la clase de vulnerabilidad a la que pertenece y se han modificado en función de la altura, presencia de pisos blandos y, para los edificios de hormigón armado se ha tenido también en cuenta el nivel de normativa sismorresistente existente cuando fue construido.

Los resultados de aplicar ambas metodologías indican que el Principado está caracterizado por edificios asociados a las clases B y C, y a unos índices de vulnerabilidad entre 0.82 y 0.50. Los resultados ponen de manifiesto que los edificios de mampostería hechos con piedra fragmentada, irregular o al natural son los edificios más antiguos y son más vulnerables que los de mampostería de ladrillo cocido y que los de hormigón armado. Los edificios menos vulnerables son los de hormigón armado. Estas características hacen que la vulnerabilidad sísmica obtenida mediante las metodologías utilizadas sea baja y para algunas zonas media. El conjunto de edificios del Principado, salvo raras excepciones, no ha sido construido utilizando ninguna normativa sismorresistente en su diseño, ya que aunque en el Principado existe una recomendación (Mañà, 1988) para aumentar la capacidad sismorresistente de los edificios, ésta no es obligatoria.

A nivel general la aplicación de la metodología del índice de vulnerabilidad pone de manifiesto una vulnerabilidad más baja del parque de edificios de vivienda que la obtenida por el método de clases de vulnerabilidad. Las máximas diferencias se observan en los polígonos que no tienen casco histórico y que se han desarrollado en los últimos 40 años. Todas estas diferencias pueden

ser debidas a que la matriz tipológica utilizada en la metodología de clases de vulnerabilidad sólo se adapte a la región de forma parcial, ya que se ha utilizado una clasificación general propia de toda Cataluña, y, en consecuencia, su aplicación a Andorra puede requerir pequeñas modificaciones que incorporen las características distintivas del Principado de Andorra.

8.2.5 Peligrosidad y escenarios sísmicos

El Principado de Andorra, situado en los Pirineos Orientales, muestra una sismicidad baja-moderada. La actividad sísmica más importante corresponde a la crisis sísmica de 1970 (Susagna y Goula, 1999), que duró del 13 al 18 de marzo de este año y se caracterizó por intensidades máximas de V-VI que corresponden a los sismos del 14 de marzo a las 15:48 y del 16 de marzo a las 6:29.

Para este estudio, se han definido tres escenarios sísmicos para el Principado de Andorra y para la *cueva de Andorra*: dos probabilistas, con periodos de retorno de 475 y de 1975 años, y uno determinista definido por un terremoto análogo al ocurrido en 1428 en el Ripollès (Girona). Las intensidades que asignan estos escenarios al principado son de VII, VIII y VI-VII respectivamente. Los escenarios se han definido en términos de intensidad de la escala EMS'98.

Para los escenarios de la *cueva de Andorra* se han considerado los efectos de suelo, según 5 zonas con diferentes propiedades de respuesta de suelos identificadas en la cueva.

La Tabla 8.1 resume los valores de los escenarios deterministas y probabilistas que se han utilizado para la realización de los escenarios de daño.

La Tabla 8.2 resume los valores de los escenarios sísmicos que se utilizarán para el cálculo de los escenarios de daños en la *cueva de Andorra*, teniendo en cuenta los efectos de suelo.

Tabla 8.1. Escenarios para el Principado de Andorra.

Escenarios	Periodo de retorno	Intensidad
Probabilista	475 años	VII
	1975 años	VIII
Determinista		VI-VII (Terremoto equivalente al de 1428)

Tabla 8.2. Escenarios para la cubeta de Andorra, teniendo en cuenta los efectos de suelo.

Escenarios	Valor de referencia	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Probabilista (T=475 años)	VII	VII	VII-VIII	VIII	VIII	VIII-IX
Probabilista (T=1975 años)	VIII	VIII	VIII-IX	IX	IX	IX-X
Determinista (Similar al de 1428)	VI-VII	VI-VII	VII	VII-VIII	VII-VIII	VIII

8.2.6 Escenarios de daños

La evaluación del daño físico a las edificaciones se ha realizado de manera estadística. Para calcular el daño a los edificios según la metodología de clases de vulnerabilidad se han utilizado las matrices de probabilidad de daño (Roca *et al.*, 2006) que se obtuvieron del análisis estadístico de los datos de daños recogidos después del terremoto de Irpinia ($M_w=6.9$), ocurrido el 23 de noviembre de 1980 en el Sur de Italia. Para el método del índice de vulnerabilidad se han desarrollado las funciones de vulnerabilidad que relacionan el grado de daño medio, con la intensidad macrosísmica y con el índice de vulnerabilidad. También se ha calculado el grado de daño medio, que indica el estado de daño más probable. Ambas metodologías utilizan seis grados de daño, que van desde grado 0 que corresponde a no daño; a daño 5, que corresponde al colapso total de la edificación y definen la acción sísmica mediante la intensidad macrosísmica.

Los escenarios de daño a la población se han realizado teniendo en cuenta la población residente del Principado y considerando que el terremoto se produce de noche, momento en el que la población se halla en sus viviendas y que suele considerarse como el caso más desfavorable. Las metodologías escogidas para la estimación de las víctimas son la ATC-13 (1985) y la propuesta por Coburn y Spence (1992); la primera tiene en cuenta todos los grados de daño de los edificios y la segunda sólo tiene en cuenta los edificios colapsados.

Como resultados más significativos para los escenarios calculados mediante la evaluación de la vulnerabilidad en clases de vulnerabilidad se obtendrían: para el escenario determinista daños ligeros para el conjunto de los edificios del Principado, y para los escenarios probabilistas con periodo de retorno de 475 y 1975 años se producirían daños moderados y serios respectivamente para el conjunto de los edificios. Como edificios inhabitables resultarían un 3%, 5% y 15% del conjunto de los edificios del Principado respectivamente.

Respecto a la metodología de los índices de vulnerabilidad la Tabla 8.3 muestra el grado de daño medio obtenido para cada una de las parroquias y para cada uno de los escenarios escogidos.

Para el escenario determinista obtendríamos daños leves para el conjunto de los edificios del Principado, y para los escenarios probabilistas con periodo de retorno de 475 y 1975 años se producirían de daños leves a moderados respectivamente para el conjunto de los edificios. Como edificios inhabitables resultarían un 3%, 5% y 15% del conjunto de los edificios del Principado para cada uno de los escenarios respectivamente.

Tabla 8.3. Grados de daño medio para los distintos escenarios, sin tener en consideración los efectos de suelo.

Parroquias	Escenarios		
	Determinista	Probabilista (T=475)	Probabilista (T=1975)
Canillo	0,63	0,90	1,52
Encamp	0,50	0,72	1,17
Ordino	0,56	0,80	1,34
La Massana	0,51	0,73	1,25
Andorra la Vella	0,58	0,83	1,42
Sant Julià de Lòria	0,47	0,68	1,09
Escaldes-Engordany	0,55	0,79	1,21

Los valores obtenidos de los escenarios de daños a los edificios de vivienda y a la población, para los diferentes escenarios sísmicos, para las diferentes metodologías utilizadas y para las diferentes unidades de estudio se muestran en el Anexo 6. Estos datos pueden ser muy útiles a los gestores de la emergencia para su prevención, preparación, planificación y gestión de la emergencia.

Se han comparado ambas metodologías usando un escenario sísmico probabilista con periodo de retorno de 475 años. Se observa que las distribuciones de ambas metodologías están centradas en los daños 0 y 1 indicando que predominan para este escenario los daños ligeros. La metodología del índice de vulnerabilidad refleja un porcentaje menor de los grados de daños 3, 4 y 5, que el obtenido mediante la metodología de clases de vulnerabilidad.

Según la microzonación sísmica de la *cubeta de Andorra* (Macau, 2008) a un 83% del área microzonada le corresponde un aumento de intensidad que va desde un grado a grado y medio. Estos aumentos de intensidad quedan reflejados en el aumento del valor del grado de daño medio. En la Tabla 8.4 se resumen los valores y se muestra la comparación de los valores teniendo en consideración los efectos de suelo y sin tenerlo en cuenta. Analizando el daño a la población, las personas que resultarían sin hogar considerando los efectos de suelo son de más del doble que si no se tienen en cuenta. Estos resultados son significativos, y ponen de manifiesto la importancia de incorporar en la peligrosidad sísmica los efectos de suelo a la hora de realizar estimaciones de

daño a los edificios y a la población y que además, estos datos deberían ser incorporados en la realización de los diferentes escenarios para una buena prevención y planificación de la emergencia.

Tabla 8.4. Comparación de los Grados de daño medio obtenidos teniendo en consideración los efectos de suelo y sin tenerlos en consideración para las parroquias de la cubeta de Andorra.

Polígonos/ Parroquias	Determinista		Probabilista (T=475)		Probabilista (T=1975)	
	Sin efectos suelo	Con efectos suelo	Sin efectos suelo	Con efectos suelo	Sin efectos suelo	Con efectos suelo
P. Andorra la Vella	0,58	0,75	0,83	1,02	1,21	1,79
P. Escaldes-Engordany	0,55	0,72	0,79	0,89	1,21	1,40

8.3 Recomendaciones y líneas futuras

En este trabajo se ha evaluado por primera vez el riesgo sísmico en el Principado de Andorra, y con él, se ha pretendido realizar una pequeña aportación al conocimiento del riesgo sísmico en el país. Este trabajo debería ser sólo el inicio de los estudios de riesgo sísmico en el Principado. Somos conscientes que queda mucho camino por recorrer, desde la mejora de las bases de datos de edificación, a la aplicación de metodologías a nivel de edificio, llegando al uso de métodos más detallados. A continuación presentamos algunas recomendaciones y líneas de investigación con el ánimo de que puedan orientar futuros trabajos y estudios que den continuidad y desarrollo a las contribuciones de nuestro estudio.

8.3.1 Recomendaciones y propuestas de investigación sobre los métodos de evaluación de la vulnerabilidad

8.3.1.1 Respecto a la base de datos

La recogida de la información sobre la edificación para la aplicación del método del índice de vulnerabilidad se ha efectuado a nivel estadístico a partir de un muestreo de los edificios existentes. El tamaño de la muestra se ha calculado en base a un nivel de confianza y a un error muestral. Concretamente se ha escogido un nivel de confianza de 2.5 con un error del 3.5, lo que, para los polígonos que tienen un número elevado de edificios, ha supuesto recoger datos del 60% de los edificios y entre un 80 - 90%, para los polígonos que tienen pocos edificios. Aunque este procedimiento da una alta fiabilidad a los resultados de este estudio, sin duda, disponer de

información a nivel de edificio individual mejoraría la base de datos y facilitaría el trabajo de futuros estudios. Sería muy conveniente y oportuno que la administración del principado asumiera el mantenimiento y actualización de una base de datos de edificios completa.

Con la aprobación de la Ley de Urbanismo, hecha pública en el *Butlletí Oficial del Principat d'Andorra* (BOPA) Núm. 10 - Año 13 con fecha del 24.01.2001, se produce un cambio de situación en lo que respecta a los datos sobre edificación de cada parroquia. La nueva Ley otorga la competencia a los *comuns*, y son estos los que califican el suelo parroquial y redactan los planes de acuerdo con su propia especificidad, criterios de crecimiento y política urbanística comunal. Así, los *comuns* se han visto obligados a crear información catastral de su parroquia. Actualmente los *comuns* están en fase de realización de sus catastros. Como propuesta futura se recomienda por una parte que se contemple la recogida de los parámetros necesarios para llevar a cabo estudios de este tipo y por otra utilizar los datos del nuevo catastro para la evaluación de la vulnerabilidad utilizando los mismos métodos y así comparar los resultados y ver la precisión de los datos y validar la metodología de creación de las bases de datos.

También se recomienda la ampliación de la base de datos de edificios con otros parámetros como: la irregularidad en altura, la irregularidad en planta o el estado de conservación del edificio entre otros, para poder utilizarlos como modificadores de los índices de vulnerabilidad.

8.3.1.2 Respecto a los métodos de evaluación de la vulnerabilidad

Las diferencias de los resultados entre las metodologías utilizadas nos hace sospechar que la matriz tipológica utilizada en la metodología de clases de vulnerabilidad constituye sólo una primera aproximación a la realidad del parque de edificios de la región, ya que refleja la realidad media de los edificios de Cataluña, y, en consecuencia obvia las características distintivas de los edificios del Principado de Andorra. Así proponemos como línea de investigación futura la adaptación de esta matriz a las características del país.

Respecto al método de índices de vulnerabilidad se propone, por una parte, la ampliación de la base de datos a nivel de edificio individual y tener en cuenta otros modificadores a parte de los ya utilizados en este trabajo, para ajustar el índice de vulnerabilidad lo mejor posible a las características específicas de los edificios de vivienda de la región. Los modificadores que se proponen tienen en cuenta las particularidades de los edificios del Principado y dependen del relieve del país, de sus hábitos constructivos y de otros factores de carácter general. Se propone la utilización de los siguientes modificadores: irregularidad en altura, irregularidad en planta, estado de conservación del edificio y modificadores de posición.

La irregularidad en altura es uno de los parámetros identificados como causa del incremento del daño en caso de terremotos. En el Principado este parámetro puede ser un modificador importante ya que Andorra, como país de montaña presenta un relieve caracterizado por fuertes pendientes. Esta característica hace que los núcleos de población se hayan desarrollado adaptándose a estas particularidades del relieve y que los edificios presenten importantes irregularidades en altura, para adaptarse a él. Por ejemplo, los edificios que pertenecen a dos calles, que no están en el mismo nivel, pueden presentar ocho plantas desde una calle y cuatro desde la otra. Esta variación hace que el edificio contenga diferentes subparcelas, es decir, diferente número de plantas dentro de él, y que por tanto presenten diferencias en alturas. Al mismo tiempo se producen irregularidades en la estructura y si ésta no está bien diseñada puede provocar un mal comportamiento del edificio en caso de sismo.

Otro de los parámetros determinantes en el comportamiento de un edificio ante un terremoto es la forma y disposición en planta de éste. Los edificios de planta regular presentan un comportamiento sísmico mejor que los que tienen una planta con geometría irregular. Así, se penalizan los edificios que son más alargados o que tienen protuberancias adicionales, ya que éstos pueden provocar problemas de torsión o concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los elementos más alejados de los centros de gravedad. Para el cálculo de este modificador se propone el uso de técnicas de análisis SIG (Lantada, 2007).

El estado de conservación penaliza la presencia de desperfectos de la estructura, así como otras irregularidades o fallos en el proceso constructivo. En el proyecto Risk-ue (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) se propone cuantificarlo en función de la edad del edificio, con el supuesto que los edificios se deterioran con el tiempo y por tanto sufren una pérdida progresiva de su capacidad de resistencia.

Las discontinuidades en los materiales, con este modificador se penaliza la geometría de los edificios contiguos así como su posición dentro de un agregado que suelen ser causa de un daño sísmico adicional. Así se propone en la utilización de éstos modificadores de posición para ajustar el índice de vulnerabilidad del edificio (Lantada, 2007).

Respecto a otras metodologías se propone la utilización de métodos más avanzados como la metodología conocida como de segundo nivel dentro del proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2004) que se basan en la definición del edificio mediante su espectro de capacidad y su curva de fragilidad mientras que la acción sísmica se define mediante espectros de respuesta. Las curvas y espectros de capacidad requieren un análisis estructural exhaustivo del edificio. Los espectros de respuesta requieren el uso de acelerogramas reales, o, en su defecto suelen usarse

espectros de diseño lo que conlleva fuertes hipótesis de validación costosa. En consecuencia, la aplicación de esta metodología requiere información exhaustiva tanto del edificio como de la acción sísmica. El esfuerzo computacional de este tipo de técnicas cuando se quieren aplicar a una numerosa población de edificios obliga a realizar un esfuerzo adicional de clasificación y agrupación del parque edificado en unas pocas clases de edificios llegando a un compromiso que permita representar el máximo número de edificios sin perder la capacidad de representar bien las diferencias en las principales características constructivas. Lantada (2007) aplicó este método al estudio del riesgo sísmico de Barcelona agrupando los edificios de mampostería y hormigón en 6 clases y concluyendo que el método del índice de vulnerabilidad tenía una mayor capacidad para captar las características de los edificios de la ciudad que quedaban severamente suavizadas al representarlas en sólo 6 clases (Lantada *et al.*, 2009).

8.3.1.3 Respecto a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de otros tipos de edificaciones e infraestructuras

Además de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica a edificios de vivienda, para tener un conocimiento más completo del riesgo sísmico, se recomienda la evaluación de los edificios de especial importancia del país, alguno de ellos ya evaluados en el marco del proyecto ISARD. Se entiende por edificios de especial importancia aquellos cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen las siguientes construcciones:

- Hospitales, centros o instalaciones sanitarias de cierta importancia.
- Edificios e instalaciones básicas de comunicaciones, radio, televisión, centrales telefónicas, etc.
- Edificios para centros de organización y coordinación de funciones para casos de desastre.
- Edificios para personal y equipos de ayuda, como cuarteles de bomberos, policía, fuerzas de seguridad y parques de maquinaria y de ambulancias.
- Las construcciones para instalaciones básicas de las poblaciones como depósitos de agua, gas, combustibles, estaciones de bombeo, redes de distribución, centrales eléctricas y centros de transformación.
- Las estructuras pertenecientes a vías de comunicación tales como puentes, muros, etc.
- Edificios e instalaciones industriales

- Las construcciones catalogadas como monumentos históricos o artísticos, o bien de interés cultural.
- Otros edificios que se recomiendan estudiar como línea de investigación futura son las escuelas. Tras el terremoto de *San Giuliano di Puglia* (Italia) el 31 de octubre de 2002 con magnitud 5.4 se produjo, entre otros muchos daños materiales y personales, el derrumbe de una escuela que acogía niños entre tres y seis años. El balance final de víctimas mortales fue de veintinueve fallecidos, veintiséis de los cuales eran niños. Este terremoto tuvo una gran repercusión, por una parte, se produjo en una región no considerada sísmicamente activa en las clasificaciones del territorio realizadas hasta entonces, y por otra abrió el debate sobre la vulnerabilidad de las escuelas, debido a que éste hecho se ha ido repitiendo en las catástrofes de los últimos años. A partir de éste y de otros casos semejantes a nivel mundial, se puso en funcionamiento la Campaña Mundial para la Reducción de Desastres 2006-2007 “La reducción de los desastres empieza en la escuela”, promovida por la Secretaria de la EIRD/ONU⁴, cuyo objetivo era informar y movilizar a los gobiernos, comunidades e individuos acerca de la importancia de la educación sobre el riesgo de desastres y la necesidad de tener instalaciones escolares seguras.
- Respecto a las líneas vitales del país, por su trazado condicionado por las características singulares del relieve de montaña, la red de carreteras podría presentar muchos problemas de cortes de circulación. Por ejemplo, en la zona de la *cubeta de Andorra*, zona donde se unen las carreteras que van a todos los puntos del país y sirven de enlace con los países vecinos, su corte supondría un problema muy grave para que los equipos de rescate y de emergencia pudieran acceder a todas las poblaciones del país en caso de emergencia. Estos cortes podrían ser debidos a diversas causas: a los escombros resultantes del colapso de los edificios, a desprendimientos o deslizamientos producidos de forma inducida por el terremoto, o por el corte de otras infraestructuras, como puentes o túneles. Así se recomienda hacer un análisis de los puntos conflictivos de la red de carreteras y un protocolo para gestionar el tráfico en caso de cortes de líneas vitales en casos de emergencia.

⁴ EIRD - Estrategia Internacional par la Reducción de Desastres / ONU - Organización de la Naciones Unidas

8.3.2 Recomendaciones y propuestas de investigación sobre la peligrosidad sísmica

El relieve andorrano tal y como lo vemos actualmente es fruto de la acción de los glaciares. Por ejemplo, la *cubeta de Andorra* es un valle de origen glaciar con un substrato rocoso cubierto por materiales cuaternarios compuestos por sedimentos fluviotorrenciales de origen aluvial, constituidos por limos, arenas, gravas y cantos rodados. Los estudios de microzonación realizados en ella (Macau, 2008) indican que la intensidad podría aumentar en algún punto de la zona en grado y medio debido a efectos de suelo. Estos aumentos de intensidad podrían producirse en otras cubetas del Principado, así recomendamos como trabajos futuros la realización de estudios de microzonación en otras cubetas del Principado tales como la Cubeta de *la Massana* o la Cubeta de *Encamp* entre otras. El objetivo de dichos estudios sería modificar los escenarios sísmicos y que los escenarios de daño sean lo más realistas posible, ya que como se ha visto en la *cubeta de Andorra* los daños podrían llegar a ser del doble.

Los aumentos de intensidad calculados por los estudios de microzonación más el hecho de que ni en el pasado, ni en la actualidad haya ninguna legislación que obligue a utilizar una normativa sismorresistente en el cálculo de las estructuras, indica que terremotos de intensidad moderada podrían provocar pérdidas importantes. Por tanto, se recomienda la creación de normativas sismorresistentes para los edificios de nueva construcción y de especial importancia y la realización de propuestas de refuerzos para aquellos edificios de alta vulnerabilidad que lo necesiten.

8.3.3 Recomendaciones y propuestas de investigación sobre los escenarios de daños

El Principado tiene dos particularidades que lo hacen especial en cuanto al flujo de población; por una parte, su carácter fronterizo y su situación económica hacen que cada día entren a trabajar personas que viven en los países vecinos, y que poseen un permiso transfronterizo de trabajo. Por otra parte, al ser un país dedicado al turismo, cada día entran por la frontera un número importante de turistas y excursionistas. Poder cuantificar el flujo de población real entre parroquias y países vecinos a lo largo del día/noche, laboral/festivo, verano/invierno, etc. es un dato muy importante a tener en cuenta para la realización de los escenarios de daño a la población y sobre todo para la planificación de la emergencia tanto antes como después del sismo. Así, recomendamos como línea futura de investigación la evaluación del flujo de población en el Principado. Esta se podría realizar, como en el caso de la ciudad de Barcelona (Martí, 1999), a partir del análisis de los datos de consumo eléctrico (con los datos existentes en las centrales eléctricas) y, del consumo de agua de la población, a partir de datos de aforamiento de aguas residuales o bien, buscando otros

parámetros que reflejen mejor el flujo de población en el país como podría ser a partir de los vehículos que circulan por este, entre parroquias y con los países vecinos.

Con respecto al censo de población se debería hacer un esfuerzo en complementarlo con el futuro catastro para acotar, de forma más precisa, datos referentes a la densidad de población por parroquias y por núcleos de población, número de habitantes por vivienda, establecer de forma clara el número de viviendas por edificio, etc. para realizar escenarios adaptados al máximo a la realidad del país.

Para el cálculo de las pérdidas económicas sería necesario tener un conocimiento detallado de la superficie destinada a vivienda por parroquia.

8.3.4 Otras recomendaciones

La única medida que existe para hacer frente a los terremotos es a través de un sistema de gestión del riesgo adecuado, compuesto por la prevención, la emergencia, la mitigación y la reconstrucción. La evaluación de la vulnerabilidad y la realización de los diferentes escenarios de daños que se presentan en este estudio forman parte de este sistema de gestión que sirve como base:

- en la prevención, para la realización de planes de evacuación y respuesta;
- en la mitigación, para llevar a cabo medidas de prevención con normativas y medidas estructurales y no estructurales, y
- en la preparación de la emergencia, realizando escenarios de daños, después del sismo, para estimar los recursos tanto sanitarios, humanos o de desescombro que son necesarios en la fase de emergencia.

Como medidas preventivas se ha recomendado, en líneas superiores, la creación de una normativa sismorresistente. Dentro del sistema de gestión, también se recomienda planificar y efectuar planes preventivos de educación a la población (en las escuelas y a la sociedad en general), y realizar simulacros tanto de la población (residentes y turistas) como de los servicios de atención de la emergencia.

9 Referencias

Adellach, B. y Ganyet, R. (1977). Estadístiques de les Valls d'Andorra. Andorra: Consell General.

Aktan, A.E. (1992). Developing a racional seismic safety policy for urban areas with "fuzzy" seismicity. Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake engineering. Madrid, pp. 6161-6166.

Ambraseys, N. (1995). The prediction of earthquake peak ground acceleration in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 24, pp. 467-490.

Ambraseys, N., Simpson, K. y Bommer, J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 25, pp. 371-400.

Anuari socioeconòmic (1996-2005). Banca Privada d'Andorra. Andorra.

Armengol, L. (1989). Aproximació a la història d'Andorra. Institut d'Estudis Andorrans, Centre de Perpinyà. ISBN: 99913-7-012-9, Dipòsit Legal: AND-72-1989. 97 p.

ATC-13 (1985). Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13. Applied Technology Council. Redwood City, California. 492 p.

ATC-21 (1988). Rapid Visual Screening of building for Potential Seismic Hazards: a Handbook. Applied Technology Council, FEMA-145, Redwood City, California.

Autran, A., Blès, J.L., Combes, Ph., Cushing, M., Dominique, P., Durouchoux, Ch., Gariel, J.C., Goula, X., Mohammadium, B., Terrier, M. (1998). Probabilistic seismic hazard assesment in France. Part one: Seismotectonic zonation. Proc. Eleventh European Conference on Earthquake Engineering. Paris (CD-ROM).

Barranco, L. y Izquierdo, A. (2002). Estimación rápida preliminar de daños potenciales en España por terremotos:simulación de escenarios sísmicos (SES 2002). Dirección General de Protección Civil y Instituto Geográfico Nacional.

Battle, J. (1978). Les vallées d'Andorre: bouleversements du cadre bâti. Unité pédagogique d'architecture n°1 PARIS. Tomo1:189 p; Tomo2, pp. 190-294.

Battle, J. (1980). La production du logement dans les Vallées d'Andorra. Institut d'Urbanisme de l'Academie de Paris. Universite de Paris VIII-Vincenns. Juin 1980.

Bernardini, A. (1997). Coherence between observations and forecasts of seismic vulnerability of masonry typologies Proc. of 11th Italian Conference on Earthquake Engineering, Taormina, Italy, pp. 177-183.

Bernardini, A. (2000). The vulnerability of buildings - Evaluation on the national scale of the seismic vulnerability of ordinary buildings, CNR-GNDT, Rome.

Bitri, A., Chardon, A. y Richalet, G. (2004). Micro Zonage sismique de la vallée de la Cerdagne et de la principauté d'Andorre. Évaluation de répartition en profondeur de la vitesse de propagation des ondes de cisaillement par la méthode SASW, Bureau de Recherches Géologiques et Minières Report.

Blès, J.L., Bour M., Dominique, P., Godefroy, P., Martin, C. y Terrier, M. (1998). Zonage sismique de la France métropolitaine pour l'application des règles parasismiques aux installations classées. Documents BRGM, n°279, 56 p.

Braga, F., Dolce, M. y Liberatore, D. (1982). Southern Italy November 23, 1980 earthquake: a statistical study on damage building and an ensuing review of the MSK-76 scale. Proceedings of the 7th European Conference on Earthquake Engineering. Athens, Greece.

Braga, F., Dolce, M. y Liberatore, D. (1985). Assessment of the relationships between macroseismic intensity, type of building and damage, based on the recent Italy earthquake data. Proceedings of the 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal.

Bramerini, F., Di Pasquale, G., Orsini, G., Pugliese, A., Romero, R. y Sabetta, F (1995). Rischio sismico del territori Italiano. Proposta di una metodologia e risultati preliminari. Rapporto Tecnico *SSN/RT/95/1*.

Bricall, J.M., Camps, J.M. y Cullell, C. (1975). Estructura i perspectives de l' economia Andorrana : Estudi preparatori de planificació encarregat pel M. I. Consell General de les Valls d'Andorra. Edicions 62. Barcelona. 493 p.

Butlletí Sismològic (1984-2009). Institut Cartogràfic de Catalunya / Institut Geològic de Catalunya. <http://www.igc.cat> . (Fecha del último acceso: 06-01-2010).

Calvo, R., Martínez G. y Gash N. (1989). Recull estadístic general de la població Andorra 90. Conselleria de treball i benestar social.

Chávez, J. (1998). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: Aplicación a Cataluña. Tesis doctoral. Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 323 p.

Chávez, J., Goula, X., Roca, A., Cabañas, L., Benito, B., Rinaldis, D. y Sabetta, F. (1998). Análisis de daños y de parámetros del movimiento del suelo correspondientes al terremoto de Irpinia de 1980. Actas de la 1ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Almería. CD-ROM.

Coburn, A. y Spence, R. (1992). Earthquake Protection. Jonh Wiley and Sons, Chinchester, England. 355 p.

Coburn, A., Spence, R. J.S. y Pomonis, A. (1992). Factors determining human casualty levels in earthquakes: Mortality prediction in building collapse. Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering. Madrid. pp. 5989-5994.

Comas D. y Pujadas, J.J. (1997). Andorra, un país de frontera. Editorial Alta Fulla. Barcelona. 201 p.

Consorcio de Compensación de seguros (2004). Pérdidas materiales aseguradas ocasionadas por el terremoto del Ripollés (Girona, Cataluña) del 21 de septiembre de 2004. Comunicación personal.

Coral, H. (2002). Utilización de métodos experimentales y de simulación numérica para la microzonación sísmica de áreas urbanizadas en Andorra. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. 207 p.

Cornell, C. A. (1968). Engineering risk analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 1583-1906.

Corsanego, A. y Petrini, V. (1995). Evaluation criteria of seismic vulnerability of the existing building patrimony on the national territory. Seismic Engineering, Patron ed., Vol. 1, pp. 16-24.

Crecit (2002). Mapa geològic d'Andorra 1:50.000. Dipòsit Legal: AND.183-2002. ISBN.99920-0-291-3.

Crecit (2005). Mapa geomorfològic d'Andorra 1:50.000. Dipòsit Legal: AND.525-2005. ISBN.99920-2-034-2.

Dolce, M. (1997). Evaluation of vulnerability for risk analysis and damage scenarios. Acts of the 8th ANIDIS National Congress: Seismic Engineering in Italy, Taormina, pp. 217-226.

Dolce, M., Zuccaro, G., Kappos, A. y Coburn, A. (1994). Report of the EAEE Working Group 3: Vulnerability and risk analysis. Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, pp. 3049-3077.

Erdik, M. y Fahjan, Y. (2005). Damage scenarios and damage evaluation. In: Oliveira, C.S.; Roca, A. y Goula, X. (Editors). *Assessing and Managing Earthquake Risk*, Springer, pp. 213-237.

Erdik, M., Aydinoglu, N., Fahjan, Y., Sesetyan, K., Demircioglu, M., Siyahi, B., Durukal, E., Ozbey, C., Biro, Y., Akma, H. y Yuzugullu, O. (2003). Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, V.2. N-1, pp. 1-25.

Erdik, M., Durukal, E., Siyahi, B., Fahjan, Y., Sesetyan, K., Demircioglu, M. y Akman, H. (2004). Earthquake Risk Mitigation in Istanbul. Chapter 7. In: Mulargia, F. y Geller, R.J. (Editors). *Earthquake Science and Seismic Risk Reduction*. Kluwer.

ESC-SESAME (2003). European-Mediterranean Seismic Hazard Map. Giardini, D.; Jiménez, M.J. y Grunthal, G. (Editors). International Geological Correlation Program Project no. 382: SESAME.

Estadístiques de població any 2003 (2003). Govern d'Andorra Ministeri de Justicia i interior. 52 p.

Faccioli, E. (Coordinatore) (1997). Scenari di danno da terremoto per il commune di Catania. Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti. Italy.

Faëh, D., Kind, F., Land, K. y Giardini, D (2001). Earthquake scenarios for the city Basel. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21, pp. 405-413.

FEMA (1998). Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings. A Prestandard. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Report 310, Washington.

FEMA (2003). Mapping and Analysis Center: Remote Sensing Information and data. Federal Emergency Agency (FEMA). <http://www.gismaps.fema.gov/rs.shtm> (Fecha del último acceso: 06-01-2010).

Figueras, S., Macau, A., Goula, X. y González, M. (2005). Aplicación del método de Newmark para el estudio de los movimientos de ladera activados por terremotos en Andorra. *Proceedings del VI Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables*. Valencia. Vol. II, pp. 867-878.

Fleta, J., Escuer, J., Goula, X., Olivera, C., Combres, Ph., Gellat, Granier, Th. (1996). Zonación tectónica, primer estadio de la zonación sismotectónica del NE de la península Ibérica (Catalunya). *Geogaceta*, Vol.20, 853-856.

Freeman, S.A. (1998a). Development and use of capacity spectrum method. *Proceedings of the 6th U.S. National Conf. Earthquake Engineering*, Seattle, EERI, Oakland, California.

Freeman, S.A. (1998b). The Capacity Spectrum Method. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris.

Giovinazzi, S. (2005). The vulnerability assessment and the damage scenario in seismic risk analysis. Tesis doctoral. The Department of Civil Engineering of the Technical University Carolo-Wilhelmina at Brannschweig, and The Faculty of Engineering Department of Civil Engineering of the University of Florence. Florence, Italy. 200 p.

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.

Giovinazzi, S. y Lagomarsino, L. (2004), A macroseismic method for vulnerability assessment of buildings, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004. Paper ID 896.

González, M., Chávez, J., Susagna, T., Goula, X. y Roca, A. (2000). Simulación de escenarios de daños: Aplicación al terremoto del Ripollés (Girona) de 1428. II Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Lagos (Algarve-Portugal), pp. 203-304.

González, M., Irizarry, J., Susagna, T. i Pujades, Ll. (2007). Realización de escenarios de daños en el Principado de Andorra: Aplicación a la zona más poblada del país. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Govern d'Andorra (2003). Anuari estadístic 2003. Andorra. 96p.

Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxemburg.

Irizarry, J., Roussillon, P., González, M., Colas, B., Sedan, O. i Susagna, T. (2007). Escenarios Transfronterizos de Riesgo Sísmico en el Pirineo Oriental. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Lagomarsino, S., Giovinazzi, S., Podestà, S. y Resemini, S. (2002). WP4-Vulnerability assessment of current buildings: I level methodology for the vulnerability assessment of current buildings and guidelines for the implementation. RISK-UE project: an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European towns. Contract No. EVK4-CT-2000-0014. 28 p.

Lantada, N. (2007). Evaluación del riesgo sísmico mediante técnicas avanzadas y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

Lantada, N., Pujades, L. y Barbat, A. (2004). GIS techniques for seismic risk scenarios evaluation: Application to Barcelona, Spain. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B. C., Canada. 423 p.

Lantada, N., Pujades, L. y Barbat, A. (2009). Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation. A comparison. Natural Hazards. Springer Netherlands. pp. 501-524.

Liberatore, D. (1992). Statistical models of damage to buildings and the MSK scale. Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering. 6905-6906. Madrid.

Lluelles, M.J. (1991). La transformació econòmica d'Andorra. Col·lecció «Clio», núm.II. Barcelona: L'Avenç.

Macau, A. (2008). Microzonación sísmica. Contribución a los estudios de peligrosidad sísmica a escala local en zonas rurales y urbanas. Tesis doctoral. Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 328 p.

Macau, A., Figueras, S., Colas, B., Le Brun, B., Bitri, A., Susagna, T., Cirés, J., González, M. y Roullé, A. (2006). Seismic microzonation in two valleys of the eastern Pyrenees: Andorra and the Cerdanya. 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 3 - 8 September 2006.

Macau, A., Figueras, S., Susagna, T., Colas, B., Le Brun, B., Bitri, A., Cirés, J., González, M. y Roullé, A. (2007). Microzonación sísmica en el Pirineo Oriental en términos de aceleración e intensidad macrosísmica. 3^{er} Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Girona, 8-11 Mayo 2007.

Mañà, F. (1988). Accions Sísmiques. Accions sobre els edificis. Institut de Tecnologia de la construcció de Catalunya.

Mañà, F. (1995). Vulnerabilidad de las construcciones tradicionales respecto a un sismo de grado VI o VII. Informe ITEC (inédito).

Martí, O. (1999). Anàlisi del risc sísmic en la ciutat de Barcelona. Aspectes relacionats amb l'evolució espai temporal del risc sísmic. Tesina de especialidad. Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 96 pp. (en catalán).

Martin, C., Combes, Ph., Secanell, R., Lignon, G., Firavanti, A., Carbon, D., Monge, O., Grellet, B. (2002). Revision du zonage sismique de la France. Etude probabiliste. Rapport geoter GRT/MATE/07001-150.

Mas, D. (1989). La casa andorrana tradicional. Premi "Principat d'Andorra", 1987. Conselleria d'Educació i Cultura. Govern d'Andorra, (447 pp) ISBN: 999-13-9-026-x.

Mc Guire, R. (1976), EQRISK. Evaluation of earthquake risk to site. Fortran computer program for seismic risk analysis. Geological. Open File. Report 76-67; 92 p.

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 p.

Ministeri d'Afers Socials i Culturals. Editorial Alta Fulla. ISBN: 84-7900-075-9 Depósito legal: B-4.194-1997. 201p.

Ministerio de la vivienda (1973). Muros resistentes de fábrica de ladrillo (MV-201-1972). Decreto del 20 de abril de 1972. N1324/1972. BCN-COACB.

Monge, O., Irizarry, J., González, M. y Taillefer, N. (2007a). Scénarios de risque sismique en Cerdagne et Andorre, dédié aux ouvrages stratégiques et aux réseaux. Aspects méthodologiques et résultats du projet ISARD. AFPS 2007, 7 e Colloque National 4/6 juillet - Ecole Central Paris.

Monge, O., Irizarry, J., González, M. y Taillefer, N.(2007b). Escenarios de daño para edificios esenciales y redes de comunicación en Cerdaña y Andorra. Aspectos metodológicos y resultados del proyecto ISARD. 3r Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Girona, 8-11 Mayo 2007.

Mouroux, P. y Lebrun, B (2006). RISK-UE: an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different European towns. In: C. S. Oliveira, A. Roca y X. Goula, (Editors), Assessing and Managing Earthquake Risk,479-507.

Mouroux, P., Bertrand, M., Bour, M., Brun, B. L., Depinois, S., Masure, P. y Risk-UEteam (2004). The European Risk-UE Project: an advanced approach to earthquake risk scenarios. Proceedings of the 13th World Conference Earthquake Engineering, Vancouver B.C (Canadá), CD-ROM, Paper No. 3329.

Olivera, C., Redondo, E., Lambert, J., Riera Melis, A. y Roca, A. (2006). Els terratrèmols dels segles XIV i XV a Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.

Oliveres, A., Mallarech, J.M., Nicolau, J. y Fonolleda, M. (2005). Primera aproximació al càlcul de la petjada ecológica d'Andorra. Horitzó 2004. Documento inédito consultable en: <http://www.adn-andorra.org> (Fecha del último acceso: 08-01-2009).

Palau, M (1978). Andorra, le pays et les hommes. París : G-P Maisonneuve et Larose.

Roca, A., Goula, X., Susagna, T., Chávez, J., González, M. y Reinoso, E. (2006). A Simplified Method for Vulnerability Assessment of Dwelling Buildings and Estimation of Damage Scenarios in Catalonia, Spain. Bulletin of Earthquake Engineering 4 (2): 141-158.

Roussillon P., Irizarry J., González M., Delmotte P., Sedan O. y Susagna T. (2006). Cross-border seismic risk scenarios (eastern pyrenees). 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneve, Switzerland, 3 - 8 September 2006.

RSE (2003). Manual d'utilització del programa de càlcul i representació d'escenaris de danys. Informe interno, Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, 56 p.

Secanell, R. (1999). Avaluació de la perillositat sísmica a catalunya: Anàlisi de sensibilitat per a diferents models d'ocurrència i paràmetres sísmics. Tesis Doctoral Universitat de Barcelona. 335 pp.

Secanell, R., Irizarry, J., Susagna, T., Martin, C., Goula, X., Combes, P., Fleta, J. (2003). Evaluación unificada de la peligrosidad sísmica alrededor de la frontera entre Francia y España. Proceedings del 2º Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, pàg. 439-447. Málaga, 2003.

Secanell, R., Martin, C., Susagna, T., Goula, X., Dominique, P.(2004). Unified probabilistic seismic hazard assessment around the France-Spain border. Workshop internacional Challenges for Geomagnetism, Aeronomy and Seismology in the XXI Century. Observatori de l'Ebre. 29 de Setembre al 1 d'Octubre de 2004.

Secanell, R., Bertil, D., Martin, C., Goula, X., Susagna, T., Tapia, M., Dominique, P., Carbon, D. y Fleta, J. (2008). Probabilistic seismic hazard assessment of the Pyrenean region. Journal of Seismology, Volume 12, Number 3 / julio de 2008.

Sponheuer, W. (1960), Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismick. Freiburger Forschungshefte, C88, 117 p.

Susagna, T. y Goula, X. (1999). Atlas sísmic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona, Vol 1, 436 p.

Susagna, T., Goula, X., Roca, A., Pujades, L., Gasulla, N. y Palma, J.J. (2006). Loss scenarios for regional emergency plans: application to Catalonia, Spain. In: C. S. Oliveira, A. Roca y X. Goula, (Editors), *Assessing and Managing Earthquake Risk*, Springer, pp. 463 - 478.

Tapia, M, Susagna, T. y Goula, X. (2007). Ground motion predictive equations for the Western Mediterranean area. *Bull. Seism. Soc. Am.*, (Accepted).

Teixidó, T., Palomeras, I., Valls, P. y Martínez, P. (2003). Prospecció sísmica a la cubeta d'Andorra la Vella - Escaldes - Engordany. *Horitzó, CRECIT-IEA*. Núm. 4, 3-25 pp.

Vela, S. (2005). *Història d'Andorra. De la prehistòria a l'edat contemporània*. Edicions 62. ISBN: 84-297-5674-4, Dipòsit Legal: B.41.475-2005. 446 p.

Woo, G. (1996), "Kernel Estimation Methods for Seismic Hazard Area Source Modelling". *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86 n°2, pp. 353-362.

Anexos

10 Anexo 1. El proyecto ISARD

10.1 Introducción

El proyecto ISARD, Información Sísmica Automática Regional de Daños, pertenece al programa Interreg IIIa (2003-2008), cuyo objetivo es la cooperación transfronteriza entre países vecinos. Es un proyecto parcialmente financiado por fondos FEDER en el marco de acciones entre Francia-España y reunió a participantes franceses, españoles y andorranos.

10.2 Organismos participantes en el proyecto

Los organismos que han participado en el Proyecto se enumeran a continuación:

Participantes Interreg:

- Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).
- Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).
- Direcció General de Protecció Civil de la Generalitat de Catalunya.
- Ajuntament de Puigcerdà.

Participantes co-financiadores:

- Conseil Général des Pyrénées Orientales.
- Services de la Sécurité Civil.

Organismos implicados en el proyecto:

- Centre de Recerca en Ciències de la Terra (CRECIT).
- Services de la Sécurité Civile (SDIS 66, DDSC, EMZ/Sud).

Empresas privadas asociadas (subcontratantes):

- GEOTER Internacional.
- RSE Aplicaciones Territoriales.

10.3 Objetivos del proyecto

El objetivo principal del proyecto ISARD, es el de generar informaciones preventivas y operacionales sobre el riesgo sísmico, sin distorsión debida a la frontera y con una transmisión eficiente de esta información a los servicios de Protección Civil.

Varias consideraciones han inspirado la redacción de este proyecto:

- Aspectos preventivos. Se propone una nueva zonificación sísmica transfronteriza y unificada para la región pirenaica, útil para la aplicación de Normas Sismorresistentes coherentes en ambos lados de la frontera,
- Aspectos cercanos a la prevención operacional. Se han planteado escenarios de daño realistas en dos zonas piloto,
- Aspectos operacionales. Pretende demostrar la factibilidad de un sistema automático y rápido de estimación de daños inmediatamente después de un terremoto, destinado a los servicios de Protección Civil que deben gestionar la crisis,
- Aspectos educativos e informativos. Realización de una página web trilingüe (castellano, francés y catalán) con informaciones accesibles a los especialistas y a la población en general referente al riesgo sísmico de esta región fronteriza, y la organización de seminarios y presentaciones como la actual.

10.4 Estructuración del proyecto

El proyecto se ha estructurado en 4 módulos:

10.4.1 Módulo 1: Zonación sísmica transfronteriza y unificada de los Pirineos

El objetivo de este módulo es la unificación de la evaluación de la peligrosidad sísmica en la región transfronteriza del Pirineo, para una aplicación coherente de las Normas Sismorresistentes a ambas partes de la frontera, así como la caracterización de solicitaciones sísmicas realistas y coherentes para la obtención de escenarios de daños debidos a un terremoto.

La realización de esos objetivos se basó en:

- la homogeneización de los datos de base (datos geológicos y de sismicidad y leyes de atenuación de la energía),
- la elaboración de modelos conceptuales comunes,

- los cálculos de la peligrosidad.

10.4.2 Módulo 2: Realización de un escenario sísmico. Aplicación al Valle de la Cerdaña y la cubeta de Andorra

El objetivo de este módulo consistió en definir, desarrollar y aplicar una metodología de realización de escenarios sísmicos en dos zonas piloto, el valle de la Cerdaña que comunica Francia con España y el centro urbano del Principado de Andorra.

La elección del Principado de Andorra, debido a su carácter transfronterizo, su posición de enclave pirenaico, su carácter urbano y sus aspectos urbanísticos particulares, se ha impuesto de forma natural ante la voluntad del Gobierno Andorrano de participar activamente en este proyecto a través del CRECIT (Instituto de Estudios Andorranos, Centro de Investigación en Ciencias de la Tierra).

La realización de estos objetivos se apoyó en:

- el censo, la estructuración y la jerarquización de los datos de base en SIG, datos relativos a la topografía, geología y los elementos en riesgo, especialmente edificios y redes vitales de distribución,
- la evaluación de la peligrosidad sísmica a escala local (efectos de amplificación y efectos inducidos),
- la evaluación de la vulnerabilidad de la edificación y de las redes vitales,
- la realización de escenarios de daño después de un posible terremoto.

10.4.3 Módulo 3: Sistema automático de estimación de daños.

El objetivo de este módulo fue el de desarrollar un sistema que permita, en tiempo real, aportar a los servicios de Protección Civil, que deben gestionar la crisis, una estimación de la localización de los daños que pueda haber causado un terremoto. Para llevar a cabo un sistema de este tipo ha sido necesaria la instalación de una red transfronteriza y común de observación acelerométrica y el desarrollo de métodos de generación de escenarios automáticos de estimación de daños asociados al terremoto.

La realización de este objetivo se basó en:

- la mejora de una red de observación sísmica que existe en Cataluña:
 - mediante la búsqueda de emplazamientos adecuados (tres en Francia, dos en España y uno en Andorra),
 - la compra e instalación de seis nuevas estaciones acelerométricas,

- la realización de procedimientos de envío automático de escenarios a los servicios de Protección Civil, usando un sistema emisor de la alerta,
- el desarrollo y utilización en común por los participantes, de un “soft” de detección y determinación automáticas de los parámetros focales del seísmo,
- el desarrollo y utilización en común de un sistema de estimación automático de daños (SAED), en tiempo real, mediante escenarios sísmicos que se basen en parte en las metodologías desarrolladas en el módulo 2.

10.4.4 Módulo 4: Difusión de la información

El objetivo de este módulo era la difusión y valorización de las informaciones generadas por los otros módulos.

La realización de este objetivo se basó en:

- la creación de una página Web trilingüe (francés, castellano y catalán) con vocación pedagógica, para garantizar la difusión de la información hacia el público y la comunidad científica internacional, aportando informaciones permanentes y estables sobre los resultados del proyecto,
- la organización de un seminario internacional al final del programa, con la finalidad de intercambiar experiencias adquiridas y facilitar el encuentro de los agentes: científicos, representantes de los servicios de Protección Civil y el público en general de los diferentes países.

10.5 Resultados

Como resultados del proyecto se hace una relación de las publicaciones más significativas del proyecto:

Dominique, P., Goula, X., Colas, B., Jara, J.A., Romeu, N., Susagna, T., Irizarry, J., Sedan, O., Figueras, S., Roulle, A. y Olivera, C. (2007). Système transfrontalier de reponse rapide en cas de séisme dans les Pyrenees Orientales. AFPS 2007, 7e Colloque National. 4/6 juillet - Ecole Central Paris.

Goula, X. y equipo de trabajo del proyecto (2007). Proyecto ISARD: Información Sísmica Automática Regional de Daños. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

González, M., Irizarry, J., Susagna, T. y Pujades, Ll. (2007). Realización de escenarios de daños en el Principado de Andorra: Aplicación a la zona más poblada del país. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Goula, X. B. Colas, J. A. Jara, N. Romeu, P. Dominique, T. Susagna, J. Irizarry, O. Sedan, S. Figueras, C. Olivera y A. Roca. (2007). Sistema transfronterizo de respuesta rápida después de un terremoto en el Pirineo Oriental. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Goula, X. y equipo de trabajo del proyecto ISARD (2007). Projet ISARD: Information Sismique Automatique Régionale des Dommages. AFPS 2007, 7e Colloque National. 4/6 juillet - Ecole Central Paris.

Irizarry, J., Roussillon, P., González, M., Colas, B., Sedan, O. y Susagna, T. (2007). Escenarios Transfronterizos de Riesgo Sísmico en el Pirineo Oriental. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Macau, A., Figueras, S., Susagna, T., Colas, B., La Brun, B., Bitri, A., Cirés, J., González, M. y Roulle A. (2007). Microzonación sísmica en el Pirineo Oriental en términos de aceleración e intensidad macrosísmica. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Monge, O., Irizarry, J., González, M. y Taillefer, N. (2007). Escenarios de daño para edificios esenciales y redes de comunicación en Cerdaña y Andorra. Aspectos metodológicos y resultados del proyecto ISARD. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Monge, O, Irizarry, J., González, M. y Taillefer, N. (2007). Scénarios de risque sismique en Cerdagne et Andorre, dédiés aux ouvrages stratégiques et aux réseaux. Aspects méthodologiques et résultats du projet ISARD. AFPS 2007, 7e Colloque National. 4/6 juillet - Ecole Central Paris.

Secanell, R., Martin, Ch., Goula, X., Susagna, T., Tapia, M., Bertil, D., Dominique, P., Carbon, D. y Fleta, J. (2007). Evaluación probabilista de la peligrosidad sísmica de la región pirenaica. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Girona, 8-11 de Mayo de 2007.

Secanell, R., Martin, C., Goula, X., Susagna, T., Tapia, M., Bertil, D., Dominique, P., Carbon, D. y Fleta, J.(2007). Évaluation probabilista de l'aléa sismique dans la région transfrontalière pyrénéenne. AFPS 2007, 7e Colloque National. 4/6 juillet - Ecole Central Paris

11 Anexo 2. Tabla con los datos sobre las unidades de estudio: Las parroquias y los polígonos

Descripción del contenido de las tablas

Columna	Descripción
Par	Nombre de las parroquias (véase apartado 4.1 del capítulo 2).
Cd	Código postal.
Pobla	Población de la parroquia, según el censo de 2003 (véase apartado 4.1 del capítulo 2).
Area	Área de la parroquia (km ²).
N_edi	Número de edificios de vivienda empleados en este estudio, según la base de datos SIG creada en este estudio (véase capítulo 4).
H_edi	Habitantes por edificio (en la parroquia). Se ha calculado a partir de la población y del número de edificios de vivienda de la parroquia.
A_edi	Área edificada (km ²), calculada mediante análisis SIG.
D_pb	Densidad de población respecto al área edificada que se ha calculado a partir de la población total y de la superficie del área edificada (en habitantes por kilómetro cuadrado).
Nucleos	Núcleos de población, en negrita la capital de la parroquia.
Pobla_N	Población de los núcleos de población, según el censo de 2003.
Cd_pol	Código del polígono.
Pobla_pol	Población del polígono según el censo de 2003.
A_pol	Área del polígono calculado mediante análisis SIG.
Edi_pol	Número de edificios de vivienda empleados en este estudio, según la base de datos SIG creada en este estudio (véase capítulo 4).
Hb_p	Habitantes por edificio (en el polígono). Se ha calculado a partir de la población y del número de edificios de vivienda del polígono.
Tp	Tipo de polígono (véase apartado 4.2 del capítulo 2).

12 Anexo 3. Breve descripción de la Escala Macrosísmica Europea (EMS'98)

La escala define las clases de vulnerabilidad de las construcciones y los grados de daños que estos pueden sufrir y en base a estas definiciones describe los grados de intensidad que provoca un terremoto. (<http://www.gfz-potsdam.de>)

12.1 Clasificación de las edificaciones en clases de vulnerabilidad

Se definen 6 clases de vulnerabilidad: A, B, C, D, E y F. Los más vulnerables son los de tipo A y los menos vulnerables son los de tipo E y F que utilizan diseño antisísmico en su construcción. Los edificios se clasifican en clases de vulnerabilidad según los tipos de estructura, si son de mampostería, hormigón armado, acero o madera, y dentro de cada grupo hay otras subdivisiones que nos definirán su clase de vulnerabilidad, por ejemplo dentro de la estructura de mampostería se distingue si esta es de adobe, sillería, de ladrillo no reforzado etc.

En la Figura A3.1 se presentan las clases de vulnerabilidad que asigna la escala EMS'98.

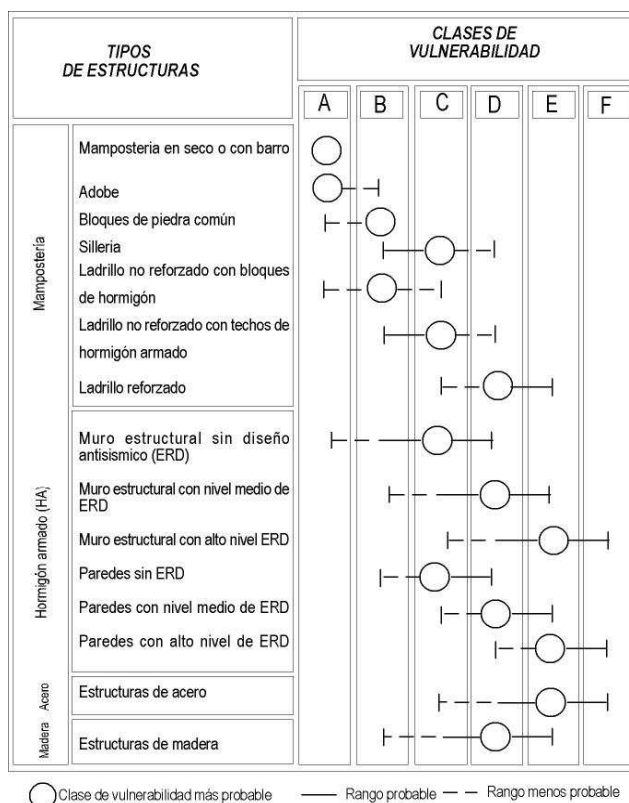


Tabla A3.1. Escala Macrosísmica Europea (EMS-98).

Una vez clasificados los edificios en clases de vulnerabilidad las escalas dan una clasificación del daño que puede sufrir un edificio bajo la acción de un sismo.

12.2 Descripción de los grados de daño

Hay cinco grados de daño:

Grado 1: daño de insignificante a ligero (ningún daño estructural).

Grado 2: daño moderado (daño estructural ligero, daño no estructural moderado).

Grado 3: daño de considerable a severo (daño estructural moderado, fuerte daño no estructural).

Grado 4: Daño muy severo (daño estructural serio, daño no estructural muy serio).

Grado 5: Destrucción (daño estructural muy serio).

Se muestra un ejemplo (Tabla 1) de la descripción de los tipos de daño en edificios de mampostería. Para cada grado de daño se hace una descripción de los daños que produce en ellos.

Tabla 1. Descripción de los tipos de daño en edificios de mampostería. Los términos cuantitativos utilizados: pocos de (0 al 20%), muchos (10 a 60 %), la mayoría (50 a 100%) vienen definidos en la escala.





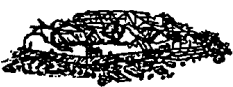



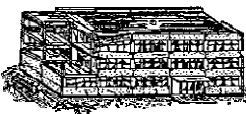

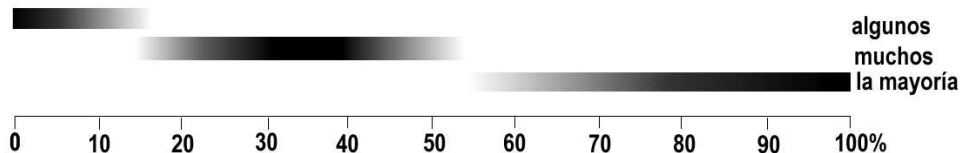
	Grado 1: Sin daño o daño leve Sin daño estructural, daño no-estructural leve.	Fisuras en muy pocos muros. Caída sólo de pequeños trozos de revestimiento. Caída de piedras sueltas de las partes altas de los edificios en muy pocos casos.
	Grado 2: Daño moderado Daño estructural leve, daño no estructural moderado.	Grietas en muchos muros. Caída de trozos bastante grandes de revestimiento. Colapso parcial de chimeneas.
	Grado 3: Daño substancial a severo Daño estructural moderado, daño no estructural moderado.	Grietas grandes y generalizadas en la mayoría de los muros. Se sueltan tejas del tejado. Rotura de chimeneas por la línea del tejado. Se dañan elementos individuales no-estructurales (tabiques,y tejados).
	Grado 4: Daño muy severo Daño estructural severo, daño no estructurales muy severo.	Se dañan seriamente los muros. Se dañan parcialmente los tejados y forjados.
	Grado 5: Destrucción Daño estructural muy severo.	Colapso total o casi total.

Tabla 2. Descripción de los tipos de daño en edificios de hormigón armado. Los términos cuantitativos utilizados: pocos de (0 al 20%), muchos(10 a 60 %), la mayoría (50 a 100%) vienen definidos en la escala.

	Grado 1: Sin daño o daño leve Sin daño estructural, daño no estructural leve.	Fisuras en el revestimiento de pórticos o en la base de los muros. Fisuras en tabiques y particiones.
	Grado 2: Daño moderado Daño estructural leve, daño no estructural moderado.	Grietas en vigas y pilares de pórticos y en muros estructurales. Grietas en tabiques y particiones; caída de enlucidos y revestimientos frágiles. Caída de mortero de las juntas de paneles prefabricados.
	Grado 3: Daño substancial a severo Daño estructural moderado, daños no estructural severo.	Grietas en pilares y en juntas viga/pilar en la base de los pórticos y en las juntas de los muros acoplados. Desprendimiento de revocos de hormigón, pandeo de la armadura de refuerzo. Grandes grietas en tabiques y particiones; se dañan paneles de particiones aislados.
	Grado 4: Daño muy severo Daño estructural severo, daño no estructural muy severo.	Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el hormigón por compresión y rotura de armaduras; fallos en la trabazón de la armadura de las vigas; ladeo de pilares. Colapso de algunos pilares o de una planta alta.
	Grado 5: Destrucción. Daño estructural muy severo.	Colapso de la planta baja o de partes del edificio (por ejemplo alas).

12.3 Definición de cantidad



12.4 Definición de los grados de intensidad

La escala define 12 tipos de grado de intensidad, desde grado de intensidad I, no percibido, hasta grado de daño XII, devastación total.

Los efectos que definen los grados de intensidad son los efectos que produce el terremoto sobre las personas (a), sobre los objetos o en la naturaleza (b) y sobre los edificios (c).

Observación preliminar:

Cada grado de intensidad puede incluir también los efectos de la sacudida de los grados de intensidad menores, aunque dichos efectos no se mencionen explícitamente.

I - No sentido

- a) No sentido, ni en las condiciones más favorables.
- b) Sin efecto.
- c) Sin daño.

II - Apenas sentido

- a) El temblor es sentido sólo en casos aislados (<1%) de los individuos en reposo y en posiciones especialmente receptivas dentro de un edificio o vivienda.
- b) Sin efecto.
- c) Sin daño

III - Débil

- a) El terremoto es sentido por algunas personas dentro de los edificios y viviendas. Las personas en reposo sienten un balanceo o ligero temblor.
- b) Los objetos colgados oscilan levemente.
- c) Sin daño.

IV - Ampliamente observado

- a) El terremoto es sentido dentro de los edificios y viviendas por muchos y sólo por muy pocos en el exterior. Se despiertan algunas personas. El nivel de vibración no es alarmante. La vibración es moderada. Los observadores sienten una leve vibración del edificio, dormitorio, cama, la silla, etc.
- b) Golpeteo de vajillas, cristalerías, ventanas y puertas. Los objetos colgados oscilan. En algunos casos los muebles ligeros tiemblan visiblemente. En algunos casos chasquidos de la carpintería.
- c) Sin daño.

V - Fuerte

- a) El temblor es sentido dentro de los edificios por la mayoría y por algunos en el exterior. Algunas personas se asustan y corren al exterior. Se despiertan muchas de las personas que duermen. Los observadores sienten una fuerte sacudida o bamboleo de todo el edificio, dormitorio o el mobiliario.
- b) Los objetos colgados oscilan considerablemente. Las vajillas y cristalerías chocan entre sí. Los objetos pequeños, inestables y/o mal apoyados pueden desplazarse o caer. Las puertas y ventanas se abren o cierran de pronto. En algunos casos se rompen los cristales de las ventanas. Los líquidos oscilan y pueden derramarse de recipientes totalmente llenos. Los animales dentro de edificios se pueden inquietar.
- c) Daños de grado 1 en algunos edificios de clases de vulnerabilidad A y B.

VI - Daños leves

- a) El temblor es sentido por la mayoría dentro de los edificios y por muchos en el exterior. Algunas personas pierden el equilibrio. Muchos se asustan y corren al exterior
- b) Pueden caerse pequeños objetos de estabilidad ordinaria y los muebles se pueden desplazar. En algunos casos se pueden romper platos y vasos. Se pueden asustar los animales domésticos (incluso en el exterior).
- c) Se presentan daños de grado 1 en muchos edificios de clases de vulnerabilidad A y B; algunos de clases A y B sufren daños de grado 2; algunos de clase C sufren daños de grado 1.

VII - Daños

- a) La mayoría de las personas se asusta e intenta correr fuera de los edificios. Para muchos es difícil mantenerse de pie, especialmente en plantas superiores.

b) Los muebles son desplazados y los pesados pueden volcarse. Caída de un gran número de objetos de las estanterías. Salpica el agua de los recipientes, depósitos y estanques.

c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad C presentan daños de grado 2.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 1.

VIII - Daños severos

a) Para muchas personas es difícil mantenerse de pie, incluso fuera de los edificios.

b) Los muebles pueden volcarse. Caen al suelo objetos como televisiones, máquinas de escribir, etc. Ocasionalmente las lápidas se pueden desplazar, girar o volcar. En suelo muy blando se pueden ver ondulaciones.

c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad D presentan daños de grado 2.

IX - Destructivo

a) Pánico general. Las personas pueden caer bruscamente al suelo.

b) Muchos monumentos y columnas se caen o giran. En suelo blando se ven ondulaciones.

c) Muchos edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad E presentan daños de grado 2.

X - Muy destructivo

c) La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad A presentan daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad B sufren daños de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.
Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.
Algunos edificios de clase de vulnerabilidad F presentan daños de grado 2.

XI - Devastador

c) La mayoría de los edificios de clase B de vulnerabilidad presentan daños de grado 5.

La mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad C sufren daños de grado 4; muchos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad D sufren daños de grado 4; algunos de grado 5.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad E sufren daños de grado 3; algunos de grado 4.

Muchos edificios de clase de vulnerabilidad F sufren daños de grado 2; algunos de grado 3.

XII - Totalmente devastador

c) Se destruyen todos los edificios de clases de vulnerabilidad A, B y prácticamente todos los de clase C. Se destruyen la mayoría de los edificios de clase de vulnerabilidad D, E y F. Los efectos del terremoto han alcanzado los efectos máximos concebibles.

13 Anexo 4. Clasificación de los usos de los edificios y de las tipologías estructurales y bases de datos

13.1 Clasificación de edificios Building Typology Matrix (BTM)

La matriz que se presenta se definió a partir del inventario de edificios de los países que participaron en el proyecto Risk-ue (Milutinovic y Trendafiloski, 2003): Bulgaria, Grecia, Francia, Italia, FYRoM⁵, Rumania y España. Describe las tipologías estructurales consideradas en dicho proyecto.

Tipología	Descripción
M. Estructuras de mampostería	
M 1	Muros de carga con mampostería
M 1.1	Muros de carga con mampostería de piedras y piedra machacada
M 1.2	Muros de carga con mampostería de piedra tallada
M 1.3	Muros de carga de mampostería de sillería
M 2	Adobe
M 3	Muros de carga de mampostería no reforzada
M 3.1	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de madera
M 3.2	Muros de carga de mampostería no reforzada con bóvedas de mampostería
M 3.3	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados mixtos de acero y mampostería
M 3.4	Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losas de hormigón armado
M 4	Muros de carga de mampostería reforzados o confinados
M 5	Edificios de mampostería totalmente reforzada
RC. Estructuras de hormigón	
RC 1	Estructuras de hormigón resistentes al momento
RC 2	Muros de cortante de hormigón
RC 3.1	Estructuras de hormigón con muros de relleno regulares de mampostería no reforzada
RC 3.2	Estructuras de hormigón irregulares con muros de mampostería no reforzada
RC 4	Sistemas duales, muros y pórticos de hormigón armado
RC 5	Muros de hormigón prefabricado
RC 6	Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de hormigón
S. Estructuras metálicas	
S 1	Estructuras metálicas resistentes al momento
S 2	Estructuras metálicas arriostradas
S 3	Estructuras metálicas con muros de relleno de mampostería no reforzada
S 4	Estructuras metálicas con muros de cortante de hormigón colocados in situ
S 5	Sistemas o estructuras mixtas, de acero y hormigón armado (rc)
W. Estructuras de madera	

A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas.

⁵ FYRoM: Former Yugoslav Republic of Macedonia

M 1.1. Muros de carga con mampostería de piedras y piedra machacada

Construcciones tradicionales en las cuales las piedras se utilizan como material de construcción básico, generalmente con mortero de mala calidad, haciendo que los edificios sean pesados y con poca resistencia a cargas laterales. Los forjados suelen ser de madera, y no proporcionan rigidez horizontal.

M 1.2. Muros de carga con mampostería de piedra tallada

Estas construcciones difieren de las de tipo M1.1 en que las piedras han experimentado una cierta preparación antes del uso. Las piedras se arreglan para la construcción del edificio según ciertas técnicas para mejorar la fuerza de la estructura, por ejemplo, usando piedras más grandes para enlazar en los dos externos a través del grueso y las paredes ortogonales a las esquinas. También pueden considerarse edificios de esta tipología los de piedras cortadas, con pulido áspero, mientras que las piedras sean de un tamaño significativo, con una textura precisa y, a veces, con pequeñas escamas en la piedra, ya que esto incrementa el contacto. También puede ser incluida en esta tipología, la mampostería de piedras intercaladas con capas horizontales compuestas de ladrillos o piedras más grandes.

M 1.3. Muros de carga de mampostería de sillería

Los edificios construidos con esta tipología son generalmente monumentos, castillos, palacios, etc. Están hechos con piedras muy grandes. Este tipo de mampostería se desarrolló durante la Edad Media, cuando las piedras se pulían con una gran exactitud, o en palacios, a veces con materiales y fabricación de muy buena calidad. Por lo tanto, estos edificios poseen generalmente una gran resistencia, que contribuye a su buen comportamiento sísmico.

M 2. Adobe

Este tipo de construcción se puede encontrar en muchos lugares donde existen arcillas adecuadas. Los métodos de construcción con adobe varían extensamente, y éste introduce algunas variaciones en la resistencia de las casas contra las sacudidas de terremotos. Las paredes construidas con capas de adobe sin el uso de ladrillos son rígidas y débiles; los edificios de adobe pueden mejorarse dependiendo de la calidad del mortero y, en menor grado, de la calidad del ladrillo. Las casas de adobe con entramado de madera poseen una resistencia adicional y resisten significativamente mejor. Tales edificios pueden sufrir daño en las paredes con

relativa facilidad, mientras que el marco de madera sigue estando intacto debido a su mayor ductilidad. También existen casas de adobe donde se utilizan vigas y columnas de madera no conectadas; éstas proporcionan una rigidez horizontal adicional y por lo tanto mejoran el comportamiento, pero no tanto como lo haría el marco conectado.

M 3.1. Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de madera

La mayoría de construcciones tienen los forjados y el tejado contruidos con vigas de madera apoyadas sobre marcos de madera. En general, la vulnerabilidad se ve afectada por el número, tamaño y posición de las aberturas. Las aberturas grandes, entrepaños pequeños entre las aberturas y esquinas, así como los escasos muros internos debido a la amplitud de las habitaciones, contribuyen a aumentar la vulnerabilidad del edificio. Un problema a remarcar es el uso de paredes huecas, que pueden, si no están correctamente conectadas, crear paredes muy débiles con una escasa resistencia al terremoto.

M 3.2. Muros de carga de mampostería no reforzada con bóvedas de mampostería

Las bóvedas se apoyan directamente en los muros de carga de mampostería o indirectamente a través de arcos de mampostería. En la mayoría de casos este tipo estructural se encuentra en edificios con fin religioso. En general, la vulnerabilidad se ve afectada por el número, el tamaño y la posición de las aberturas. Las aberturas grandes, entrepaños pequeños entre las aberturas y esquinas, así como los escasos muros internos debido a la amplitud de las habitaciones, contribuyen a aumentar la vulnerabilidad del edificio. Un problema a remarcar es el uso de paredes huecas, que pueden, si no están correctamente conectados, crear paredes muy débiles con una escasa resistencia al terremoto.

M 3.3. Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados mixtos de acero y mampostería

Las losas se componen de vigas de acero apoyadas en los muros de carga de mampostería y de bóvedas de mampostería colocadas entre las vigas y apoyadas en las alas de la viga. En general, la vulnerabilidad se ve afectada por el número, el tamaño y la posición de las aberturas. Las aberturas grandes, entrepaños pequeños entre las aberturas y esquinas, así como los escasos muros internos debido a la amplitud de las habitaciones, contribuyen a aumentar la vulnerabilidad del edificio. Un problema a remarcar es el uso de paredes huecas, que pueden, si no están correctamente conectadas, crear paredes muy débiles con una escasa resistencia al terremoto.

M 3.4. Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losas de hormigón armado

Aunque los muros son los elementos más importantes que se observan en un edificio, a veces los elementos horizontales pueden ser igualmente decisivos en la determinación de la resistencia de una estructura a la carga lateral. Por lo tanto, las construcciones que tienen las paredes reforzadas (ladrillos, piedras pulidas, bloques de hormigón) y los forjados son de hormigón armado, se comportarán significativamente mejor que los edificios normales de mampostería. Si las paredes están conectadas y ligadas junto con una losa rígida con vigas anulares, se crea un sistema encajonado que reduce con eficacia el riesgo del derrumbamiento de las paredes hacia afuera del plano, o la separación y deriva de la intersección de las paredes perpendiculares. Esta mejora del comportamiento se observará solamente si el forjado de hormigón armado está conectado correctamente con la estructura; éste es el caso de los edificios más recientes de mampostería (siglo XX), en los que se emplearon las vigas anulares durante la construcción.

M 4. Muros de carga de mampostería reforzados o confinados

La mampostería reforzada, las barras o el acoplamiento de acero quedan encajados o embebidos (en mortero o lechada) en agujeros o entre las capas de mampostería de ladrillos, creando un material compuesto que actúa como un muro altamente resistente y dúctil. Este refuerzo estará presente en las direcciones verticales y horizontales. La mampostería confinada se caracteriza por la construcción rígida de la mampostería entre las columnas estructurales y las vigas en las cuatro caras, proporcionando un nivel similar de resistencia. En estos casos, no se cree que los elementos conectados deban comportarse como un entramado resistente al momento, así que la mampostería no es sólo un relleno no estructural, sino también el material estructural principal.

M 5. Edificios de mampostería totalmente reforzada

Los viejos edificios de mampostería que han experimentado una consolidación total para reducir la vulnerabilidad sísmica. Los trabajos que pertenecen a esta categoría son los siguientes: a) los nuevos forjados de hormigón armado (RC), con armadura continua en las vigas y losas rígidas; b) el revestimiento de los paneles de mampostería con RC; c) la construcción de vigas y columnas de hormigón armado en el grueso del muro, para confinar la mampostería con un bastidor no resistente al momento; d) inserción de un bastidor de acero en el grueso de pared. El comportamiento de esta clase de edificios es muy diverso porque depende de la eficacia de la intervención adoptada, en relación con el edificio original y con la calidad de su realización real.

RC 1. Estructuras de hormigón resistentes al momento

Estos edificios tienen pórticos con columnas y vigas de RC. En algunos casos, las conexiones entre viga y columna tienen capacidad resistente a momentos muy pequeños, pero en otros casos, algunas de las vigas y columnas se diseñan como marcos completamente resistentes al momento de fuerzas laterales. Generalmente, la estructura está recubierta por paredes no estructurales exteriores, que pueden ser de casi cualquier material (muros cortina, mampostería de ladrillo, o paneles del hormigón prefabricado), y en el interior por techos y columnas revestidos. Los diafragmas (construidos generalmente de RC) transfieren cargas laterales a los marcos resistentes al momento. Si se presenta una baja rigidez de los bastidores puede dar lugar a grandes derivas entre plantas que pueden conducir a un daño no estructural relativamente mayor. Hay una gran variedad de sistemas de marco. Algunos marcos de hormigón más viejos pueden proporcionarse y detallarse de forma que la fragilidad de rotura de los miembros del marco puede producirse durante el terremoto, lo que conduce al derrumbamiento parcial o completo del edificio. En zonas de la alta sismicidad los marcos modernos están proporcionados y pormenorizados para el comportamiento dúctil y es probable que experimenten deformaciones grandes durante un terremoto sin la rotura de los miembros del marco y sin colapsar.

RC 2. Muros de cortante de hormigón

Los componentes verticales del sistema que resiste a fuerzas laterales en estos edificios son los muros a esfuerzo cortante de hormigón que normalmente son muros de carga. En edificios más viejos, las paredes son a menudo muy extensas y las tensiones de la pared son bajas pero el refuerzo es ligero. En edificios más nuevos, se limita con frecuencia la extensión de los muros de cortante, generando inquietudes por el límite de los miembros y las fuerzas de volcado.

RC 3.1. Estructuras de hormigón con muros de relleno regulares de mampostería no reforzada

Generalmente, estos edificios no presentan un diseño sismorresistente, sin embargo, tienen un buen relleno regular de mampostería, que puede ayudar significativamente en la resistencia a acciones horizontales. Las paredes de relleno están generalmente desplazadas de los miembros exteriores del pórtico, se recubren de material ignífugo, y demuestran generalmente una mampostería exterior lisa sin la indicación del pórtico. Cuando los paneles de mampostería solidamente rellenos comunican completamente con los miembros circundantes del pórtico (es decir, se encuentran en el mismo plano), pueden proporcionar a la estructura rigidez y resistencia

frente a carga laterales. En estos edificios, el esfuerzo de cortante de las columnas, después de agrietarse el relleno, puede limitar el comportamiento semi-dúctil del sistema.

RC 3.2. Estructuras de hormigón irregulares con muros de mampostería no reforzada

Estos edificios son similares a los pórticos de hormigón en los edificios de tipología RC3.1, excepto por las irregularidades que muestra el sistema estructural, las cuales pudieron ser debidas a la carencia de regularidad de los pórticos de hormigón o de las paredes de relleno. Las irregularidades del pórtico de hormigón y/o la presencia de plantas blandas producen un comportamiento estructural pobre bajo cargas laterales.

RC 4. Sistemas duales, muros y pórticos de hormigón armado

Estos edificios tienen sistemas estructurales que están compuestos por los marcos de RC y muros estructurales de RC.

RC 5. Muros de hormigón prefabricado

Estos edificios tienen diafragmas de RC que distribuyen las fuerzas laterales a los muros de cortante de hormigón prefabricado. Edificios más viejos tienen a menudo conexiones inadecuadas del anclaje de los muros a la azotea y forjados para las fuerzas hacia afuera del plano, siendo a menudo las conexiones del panel frágiles. Las paredes pueden tener numerosas aberturas para las puertas, y las ventanas son de tal tamaño que la pared parece más un marco que un muro de carga.

RC 6. Estructuras de hormigón prefabricado con muros de cortante de hormigón

Estos edificios contienen los diafragmas del suelo y azotea integrados típicamente por elementos de hormigón prefabricado con o sin las losas superiores de hormigón colocadas in situ. Las vigas y columnas de hormigón prefabricado soportan los diafragmas. Las franjas de cierre entre los elementos prefabricados del suelo y las conexiones entre viga y columna son generalmente de hormigón colocado in situ. Los insertos de acero soldado se utilizan a menudo para interconectar elementos prefabricados. Los muros de hormigón de cortante, prefabricados o colocados in situ son resistentes a cargas laterales. Para que los edificios con los pórticos prefabricados y los muros de cortante de hormigón puedan presentar un buen comportamiento, los detalles suelen estar conectados a los elementos estructurales, que deben tener suficiente fuerza y capacidad de

desplazamiento; sin embargo, en algunos casos, los detalles de conexión entre los elementos prefabricados tienen una ductilidad insignificante.

S 1. Estructuras metálicas resistentes al momento

Estos edificios tienen un entramado de columnas y vigas de acero. En algunos casos, las conexiones entre viga y columna tienen capacidad resistente al momento muy pequeña, pero, en otros casos, algunas de las vigas y columnas se desarrollan completamente como marcos para resistir al momento de fuerzas laterales. Generalmente, la estructura está recubierta por las paredes no estructurales exteriores, que pueden ser de casi cualquier material (muros cortina, mampostería de ladrillo o paneles del hormigón prefabricado), y en el interior por los techos y columnas revestidos. Los diafragmas transfieren cargas laterales a los marcos resistentes al momento. Los diafragmas pueden ser casi de cualquier material. Los marcos desarrollan su rigidez mediante conexiones total o parcialmente resistentes al momento. Los marcos se pueden situar en casi cualquier lugar del edificio. Normalmente, las columnas tienen sus direcciones fuertes orientadas de modo que algunas columnas actúan principalmente en una dirección mientras que las otras actúan en la otra.

S 2. Estructuras metálicas arriostradas

Estos edificios son similares a los del tipo S1, excepto en que los componentes verticales del sistema resistente a fuerzas laterales son pórticos arriostrados más que pórticos resistentes al momento.

S 3. Estructuras metálicas con muros de relleno de mampostería no reforzada

Las paredes de relleno están generalmente desplazadas de los miembros exteriores del pórtico, se recubren de material ignífugo y generalmente muestran una mampostería exterior lisa sin la indicación del pórtico. Cuando los paneles de mampostería solidamente rellenos comunican completamente con los miembros circundantes del pórtico (es decir, se encuentran en el mismo plano), pueden proporcionar a la estructura rigidez y resistencia frente a cargas laterales.

S 4. Estructuras metálicas con muros de cortante de hormigón colocados in situ

Los bloques de hormigón en estos edificios se colocan in situ y pueden ser muros de carga. El marco de acero se diseña únicamente para las cargas verticales. Diafragmas de casi cualquier

material transfieren la carga lateral a los muros de carga. El marco de acero puede proporcionar un sistema secundario de resistencia a fuerzas laterales dependiendo de la rigidez del bastidor y de la capacidad de resistencia al momento de las conexiones entre viga y columna. En los modernos sistemas “dual”, los marcos de acero resistentes al momento se diseñan para trabajar junto con los muros de carga de hormigón.

S 5. Sistemas o estructuras mixtas, de acero y hormigón armado

Estos edificios tienen un marco resistente al momento de columnas y vigas compuestas de acero y hormigón. Generalmente, la estructura está recubierta por las paredes no estructurales exteriores, que pueden ser de casi cualquier material (muros cortina, mampostería de ladrillo, o paneles del hormigón prefabricado), y en el interior por los techos y columnas revestidos. Los diafragmas transfieren cargas laterales a los marcos resistentes al momento. Los diafragmas pueden ser casi de cualquier material. Los marcos desarrollan su rigidez mediante conexiones total o parcialmente resistentes al momento. Los marcos se pueden situar en casi cualquier lugar del edificio. Normalmente, las columnas tienen sus direcciones fuertes orientadas de modo que algunas columnas actúan principalmente en una dirección mientras que las otras actúan en la otra.

W. Estructuras de madera

Son normalmente viviendas unifamiliares o pequeñas viviendas multifamiliares. La característica estructural esencial de estos edificios es el marco repetitivo de vigas de madera o cabios de madera o viguetas de madera con pernos a las paredes. Las cargas son ligeras y las luces, vanos y arcadas son pequeños. Estos edificios pueden tener chimeneas de mampostería relativamente pesadas, que pueden cubrirse parcial o completamente con la placa de piedra. La mayoría de estos edificios tienen generalmente los componentes de un sistema resistente a fuerzas laterales, aunque pueden ser incompletos. Las cargas laterales son transferidas por los diafragmas a los muros de carga. Los diafragmas son paneles de azotea y forjados que pueden estar revestidos con madera serrada, madera contrachapada o cartón-fibra. Los muros de cortante se revisten con tableros, estuco, mortero de yeso, madera contrachapada, paneles de yeso, tableros prensados o paneles de cartón-fibra, y las paredes interiores se forran con mortero de yeso o paneles de yeso.

13.2 Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de clases de vulnerabilidad.

Esta tabla contiene los parámetros de los edificios de vivienda necesarios para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de clases de vulnerabilidad. Las filas son cada una de las parroquias y polígonos. La estructura está basada en la Tabla 3.1, por ejemplo, *SU5_SU72_N* significa Número de edificios de más 5 plantas (SU5), construidos después del año 1972 (SU72) (no incluido) pertenecientes al núcleo de la población (N).

Nombre del campo	Tipo de campo	Precisión	Descripción
CODI_INE	Texto	5	Código de la parroquia
POBLACION	Texto	42	Nombre de la parroquia
LAT	Numérico	Doble	Latitud asignada a la parroquia en grados [°]
LONG	Numérico	Doble	Longitud asignada a la parroquia en grados [°]
XUTM	Numérico	Doble	Valor x de la coordenada UTM asignada a la parroquia en metros [m]
YUTM	Numérico	Doble	Valor y de la coordenada UTM asignada a la parroquia en metros [m]
IN4_IN49_N	Numérico	Doble	Número de edificios de menos de 4 plantas, construidos antes del año 1949 (no incluido) pertenecientes al núcleo de la población
IN4_49_72_N	Numérico	Doble	Número de edificios de menos de 4 plantas, construidos entre el año 1949 i 1972 (ambos incluidos) pertenecientes al núcleo de la población
IN4_SU72_N	Numérico	Doble	Número de edificios de menos de 4 plantas, construidos después del año 1972 (no incluido) pertenecientes al núcleo de la población
A45_IN49_N	Numérico	Doble	Número de edificios de 4-5 plantas, construidos antes del año 1949 (no incluido) pertenecientes al núcleo de la población
A45_49_72_N	Numérico	Doble	Número de edificios de 4-5 plantas, construido entre el año 1949 i 1972 (ambos incluidos) pertenecientes al núcleo de la población
A45_SU72_N	Numérico	Doble	Número de edificios de 4-5 plantas, construidos después del año 1972 (no incluido) pertenecientes al núcleo de la población

Anexo 4. Clasificación de los usos de los edificios y de las tipologías estructurales y bases de datos

Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de clases de vulnerabilidad (Continuación).

Nombre del campo	Tipo de campo	Precisión	Descripción
SU5_IN49_N	Numérico	Doble	Número de edificios de más 5 plantas, construidos antes del año 1949 (no incluido) pertenecientes al núcleo de la población
SU5_49_72_N	Numérico	Doble	Número de edificios de más 5 plantas, construidos entre el año 1949 i 1972 (ambos incluidos) pertenecientes al núcleo de la población
SU5_SU72_N	Numérico	Doble	Número de edificios de más 5 plantas, construidos después del año 1972 (no incluido) pertenecientes al núcleo de la población
IN4_IN49_D	Numérico	Doble	Número de edificios de menos de 4 plantas, construidos antes del año 1949 (no incluido) diseminados por la parroquia
IN4_49_72_D	Numérico	Doble	Número de edificios de menos de 4 plantas, construidos entre el año 1949 i 1972 (ambos incluidos) diseminados por la parroquia
IN4_SU72_D	Numérico	Doble	Número de edificios de menos de 4 plantas, construidos después del año 1972 (no incluido) diseminados por la parroquia
A45_IN49_D	Numérico	Doble	Número de edificios de 4-5 plantas, construidos antes del año 1949 (no incluido) diseminados por la parroquia
A45_49_72_D	Numérico	Doble	Número de edificios de 4-5 plantas, construido entre el año 1949 i 1972 (ambos incluidos) diseminados por la parroquia
A45_SU72_D	Numérico	Doble	Número de edificios de 4-5 plantas, construido después del año 1972 (no incluido) diseminados por la parroquia
SU5_IN49_D	Numérico	Doble	Número de edificios de más 5 plantas, construidos antes del año 1949 (no incluido) diseminados por la parroquia
SU5_49_72_D	Numérico	Doble	Número de edificios de más 5 plantas, construidos entre el año 1949 y 1972 (ambos incluidos) diseminados por la parroquia
SU5_SU72_D	Numérico	Doble	Número de edificios de más 5 plantas, construidos después del año 1972 (no incluido) diseminados por la parroquia

Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de clases de vulnerabilidad(Continuación).

Nombre del campo	Tipo de campo	Precisión	Descripción
HABITANTES	Numérico	Doble	Número de habitantes en la parroquia
EUROS/M2	Numérico	Doble	Media del coste de la construcción de un metro cuadrado de superficie en [€/m ²] en una parroquia
M2/VIVIENDA	Numérico	Doble	Media de la superficie por vivienda en una parroquia
A	Numérico	Doble	Número de edificios de vulnerabilidad A
B	Numérico	Doble	Número de edificios de vulnerabilidad B
C	Numérico	Doble	Número de edificios de vulnerabilidad C
D	Numérico	Doble	Número de edificios de vulnerabilidad D
VIVIENDAS/EDIFICI	Numérico	Doble	Número de viviendas por edificio
HABITANTES/EDIFICI	Numérico	Doble	Número de habitantes por edificio

Anexo 4. Clasificación de los usos de los edificios y de las tipologías estructurales y bases de datos

13.3 Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de los índices de vulnerabilidad.

Esta tabla contiene los parámetros de los edificios de vivienda necesarios para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de índices de vulnerabilidad. Las filas son cada uno de los polígonos. Los datos se han estructurado en función de la tipología estructural del edificio, el número de plantas y la edad. La estructura está basada en la Tabla 4.12, por ejemplo, *M 3.1AH* significa porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.1, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas.

Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de índices de vulnerabilidad (Continuación).

Nombre del campo	Tipo de campo	Precisión	Descripción
POLI_ID	Numérico	Entero largo	Identificador del polígono
NOM_POLI	Texto	42	Nombre del polígono
MUNI_ID	Numérico	Entero largo	Identificación simple de la parroquia a la que pertenece el polígono
CODI_INE	Texto	5	Código de la parroquia
HABITANTES	Numérico	Doble	Número de habitantes en el polígono
VIVIENDAS	Numérico	Doble	Número de viviendas que pertenecen al polígono
EDIFICIOS	Numérico	Doble	Número de edificios que pertenecen al polígono
M 1.1AH	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M1.1, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas.
M 1.1AL	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M1.1, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas.
M 1.1BH	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M1.1, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas.
M 1.1BL	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M1.1, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas.
M 1.1CH	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M1.1, construido después de 1972 y con más de 5 plantas.
M 1.1CL	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M1.1, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas.
M 3.1AH	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.1, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas.

Anexo 4. Clasificación de los usos de los edificios y de las tipologías estructurales y bases de datos

Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de índices de vulnerabilidad (Continuación).

Nombre del campo	Tipo de campo	Precisión	Descripción
M 3.1AL	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.1, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas.
M 3.1BH	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.1, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas.
M 3.1BL	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.1, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas.
M 3.1CH	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.1, construido después de 1972 y con más de 5 plantas.
M 3.1CL	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.1, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas.
T3AHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
M 3.4AHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
M 3.4ALN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
M 3.4ALT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
M 3.4BHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
M 3.4BHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
M 3.4BLN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
M 3.4BLT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
M 3.4CHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido después de 1972 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.

Anexo 4. Clasificación de los usos de los edificios y de las tipologías estructurales y bases de datos

Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de índices de vulnerabilidad(Continuación).

Nombre del campo	Tipo de campo	Precisión	Descripción
M 3.4CHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido después de 1972 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
M 3.4CLN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
M 3.4CLT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología M3.4, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
RC 3.1AHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
RC 3.1AHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
RC 3.1ALN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
RC 3.1ALT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
RC 3.1BHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
RC 3.1BHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
RC 3.1BLN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
RC 3.1BLT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
RC 3.1CHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido después de 1972 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
RC 3.1CHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido después de 1972 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.

Anexo 4. Clasificación de los usos de los edificios y de las tipologías estructurales y bases de datos

Estructura de la base de datos de edificación para la evaluación de la vulnerabilidad según la metodología de índices de vulnerabilidad(Continuación).

Nombre del campo	Tipo de campo	Precisión	Descripción
RC 3.1CLN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
RC 3.1CLT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología RC3.1, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
S1AHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
S1AHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido antes de 1949 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
S1ALN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
S1ALT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido antes de 1949 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
S1BHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
S1BHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido entre 1949 y 1972 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
S1BLN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
S1BLT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido entre 1949 y 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.
S1CHN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido después de 1972 y con más de 5 plantas y con la planta baja normal.
S1CHT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido después de 1972 y con más de 5 plantas y con la planta blanda.
S1CLN	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta baja normal.
S1CLT	Numérico	Doble	Porcentaje de edificios del polígono con la tipología S1, construido después de 1972 y con menos de 5 plantas y con la planta blanda.

14 Anexo 5. Análisis de la vulnerabilidad

14.2 Distribución de las clases de vulnerabilidad por parroquia

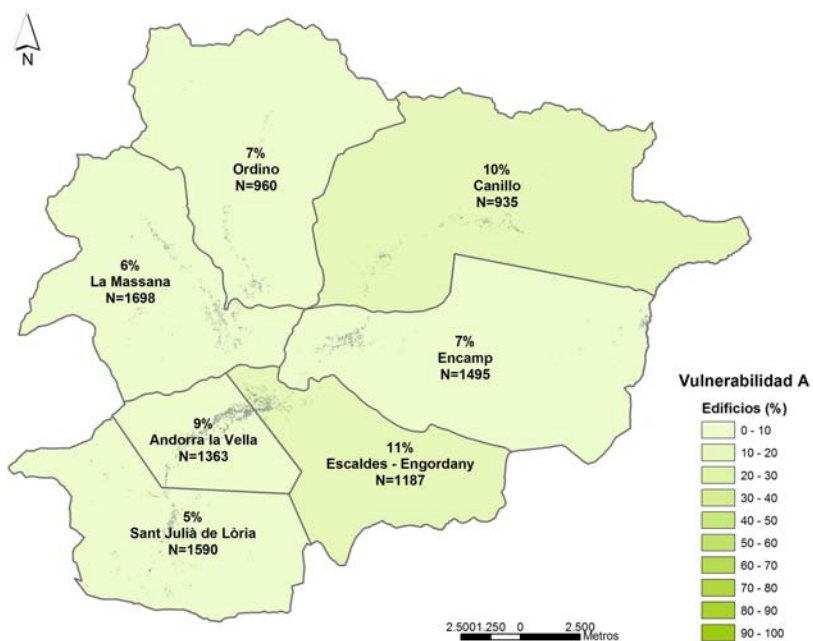


Figura A5.1. Distribución por parroquias de la clase de vulnerabilidad A.

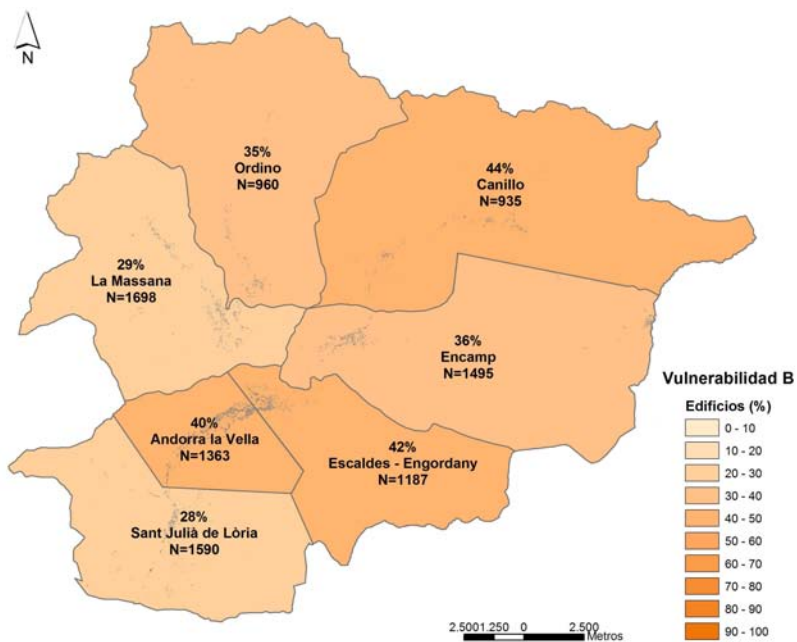


Figura A5.2. Distribución por parroquias de la clase de vulnerabilidad B.

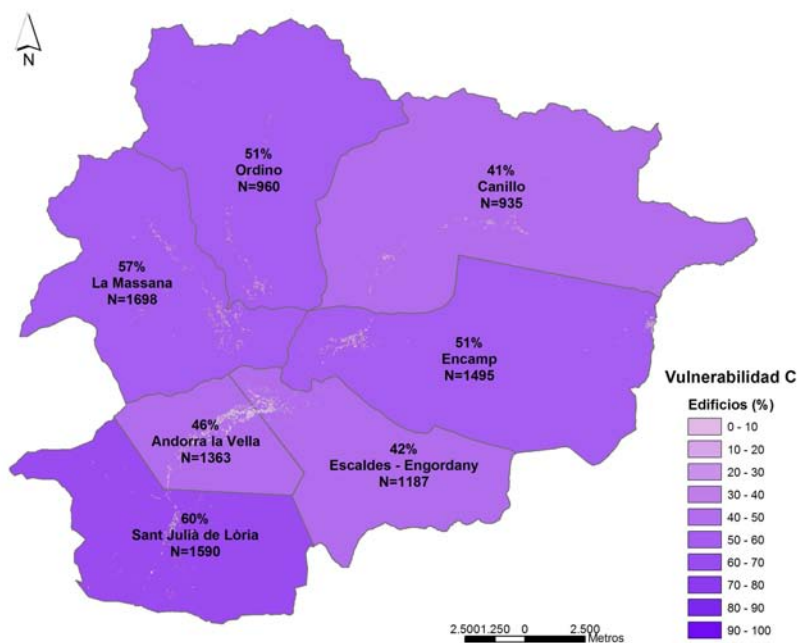


Figura A5.3. Distribución por parroquias de la clase de vulnerabilidad C.

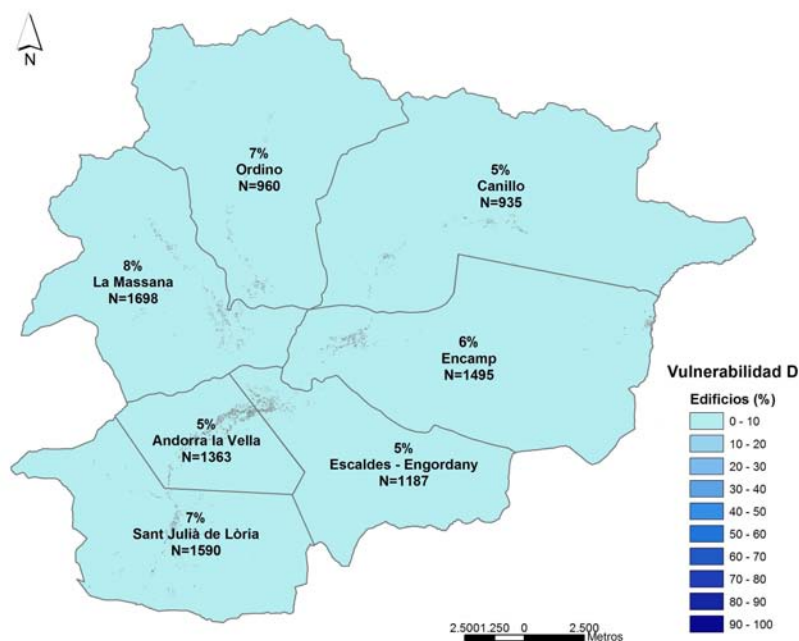


Figura A5.4. Distribución por parroquias de la clase de vulnerabilidad D.

14.3 Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos

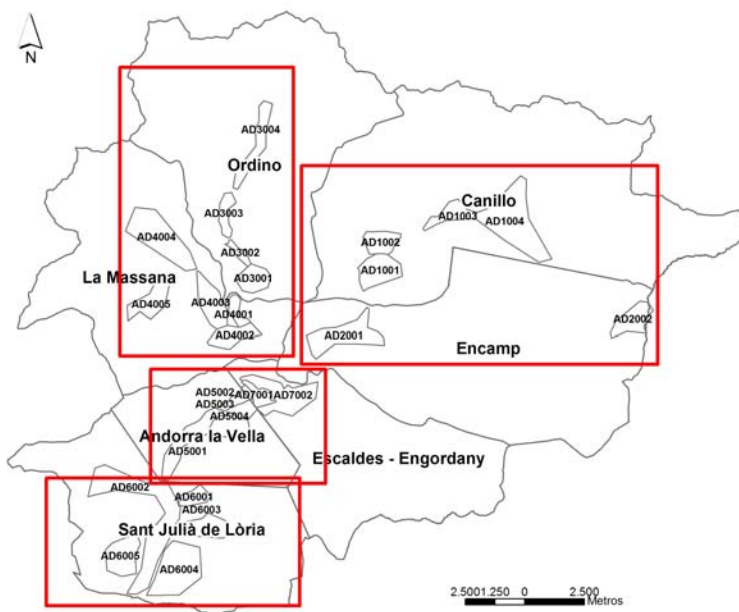


Figura A5.5. Esquema de cómo se presentan los resultados por polígono.

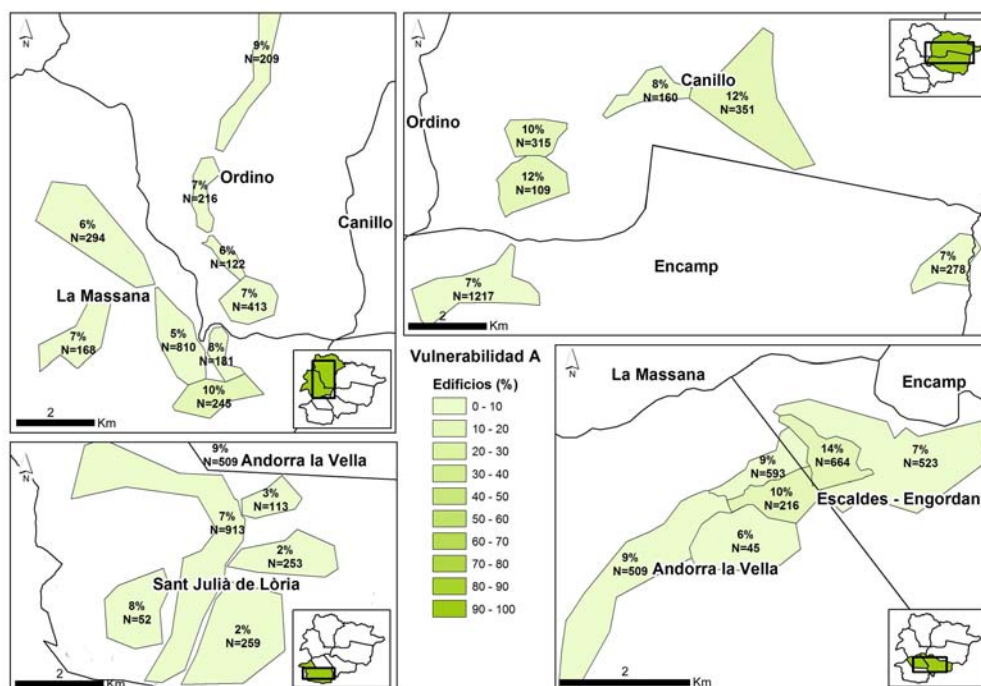


Figura A5.6. Distribución de la clase de vulnerabilidad A. Para cada polígono se representa el porcentaje de edificios que pertenecen a la clase de vulnerabilidad A y el número total de edificios (N) que tiene.

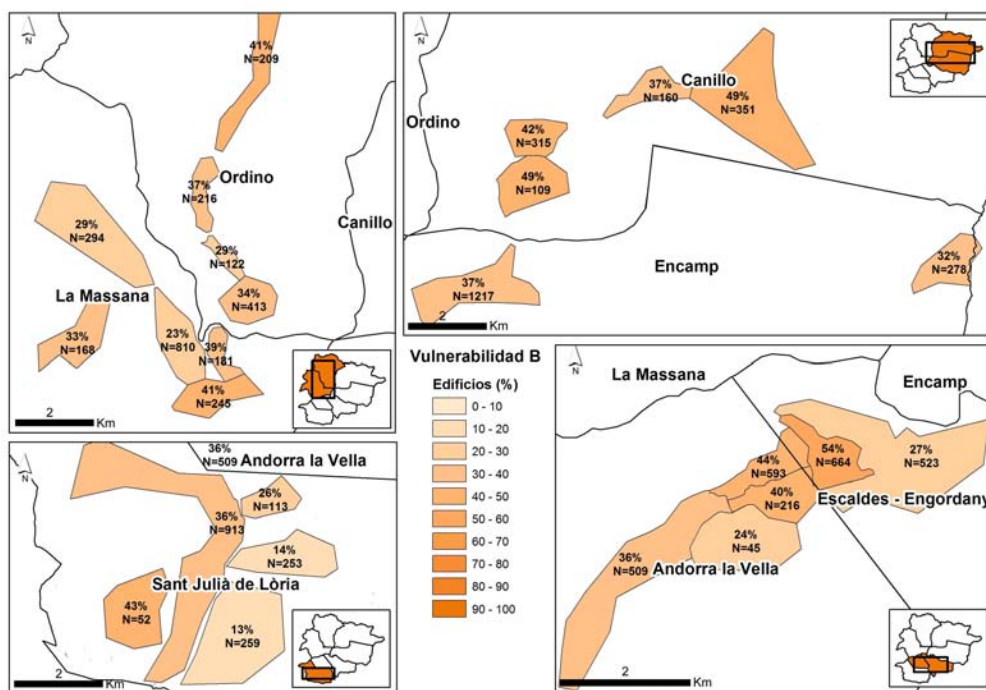


Figura A5.7. Distribución de la clase de vulnerabilidad B. Para cada polígono se representa el porcentaje de edificios que pertenecen a la clase de vulnerabilidad B y el número total de edificios (N) que tiene.

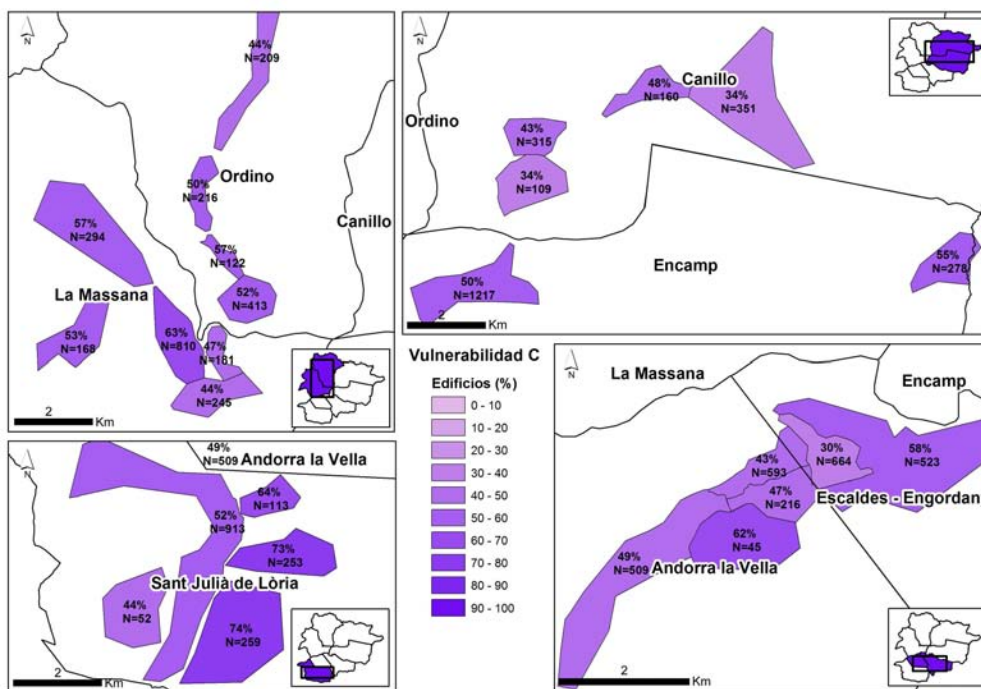


Figura A5.8. Distribución de la clase de vulnerabilidad C. Para cada polígono se representa el porcentaje de edificios que pertenecen a la clase de vulnerabilidad C y el número total de edificios (N) que tiene.

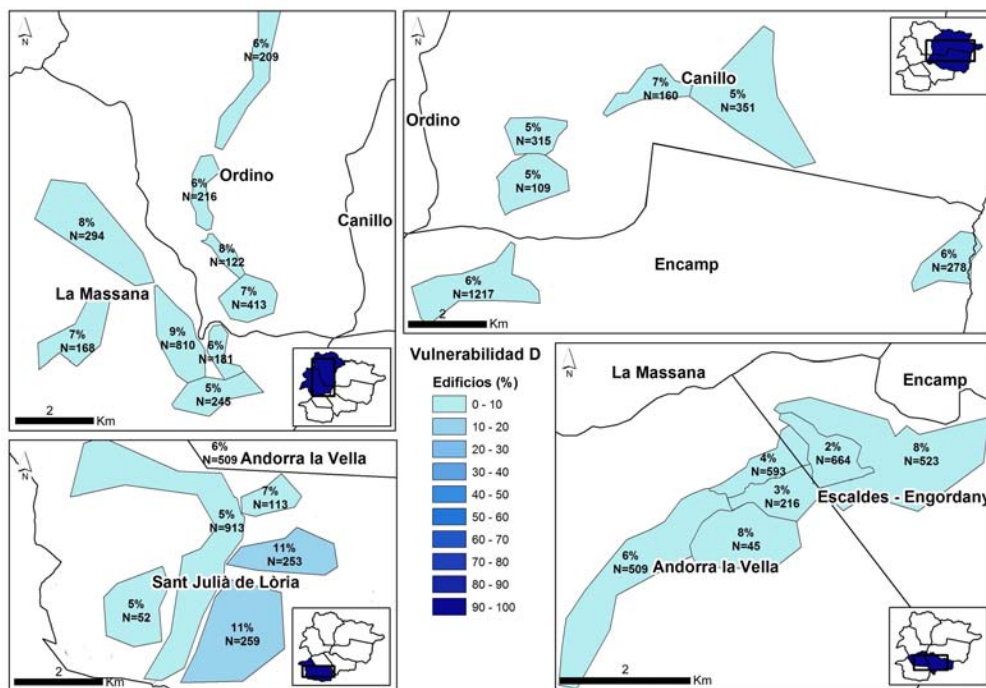


Figura A5.9. Distribución de la clase de vulnerabilidad D. Para cada polígono se representa el porcentaje de edificios que pertenecen a la clase de vulnerabilidad D y el número total de edificios (N) que tiene.

14.4 Comparación de la distribución de las clases de vulnerabilidad por polígono/parroquia

Parroquia de Canillo

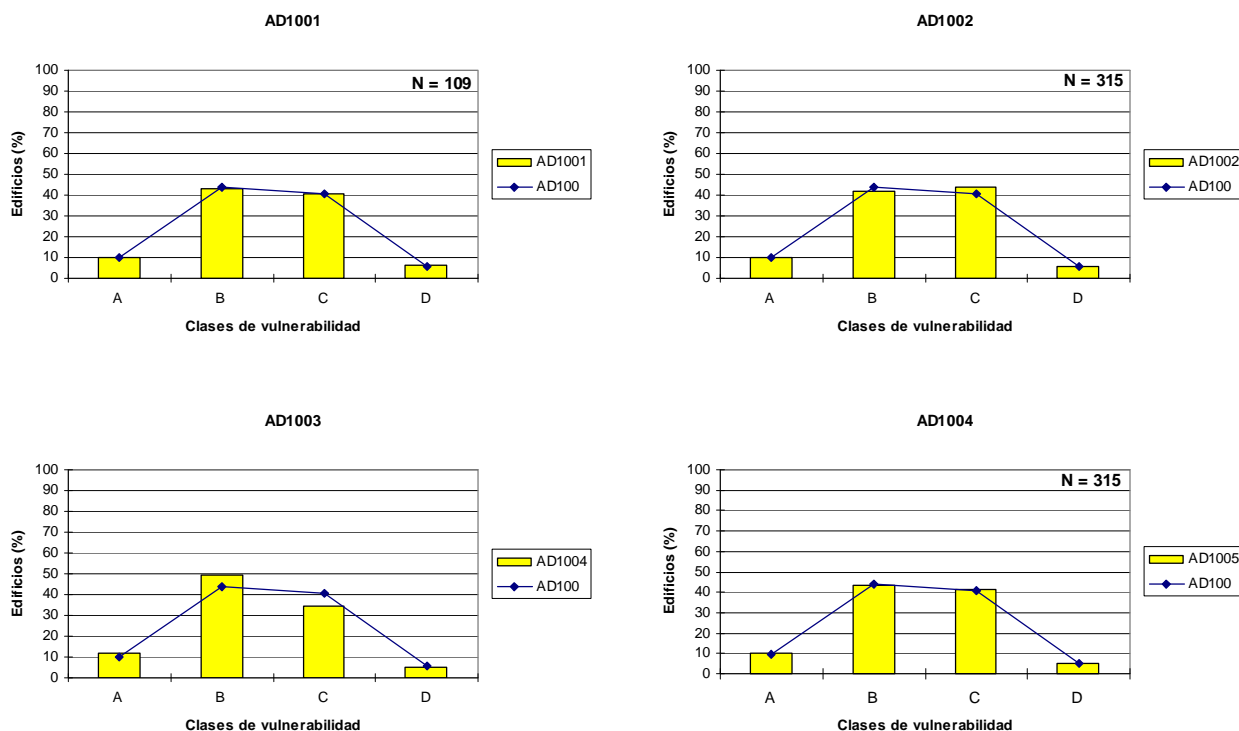


Figura A5.10. Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Canillo. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Encamp

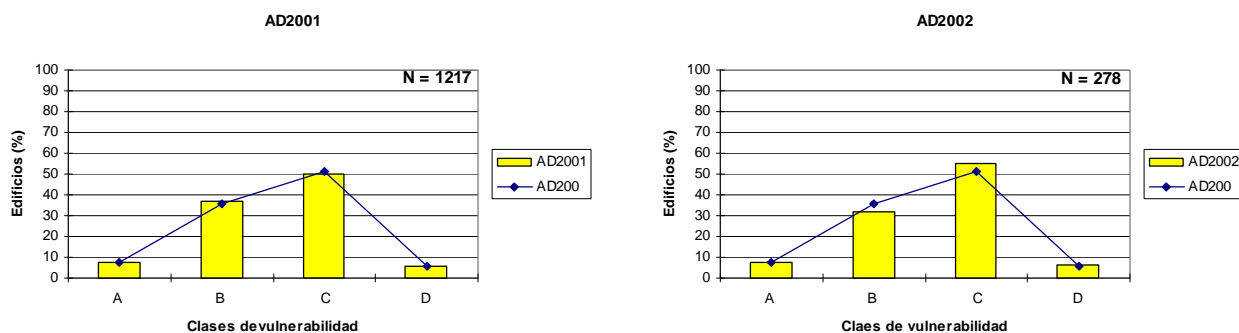


Figura A5.11. Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Encamp. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Ordino

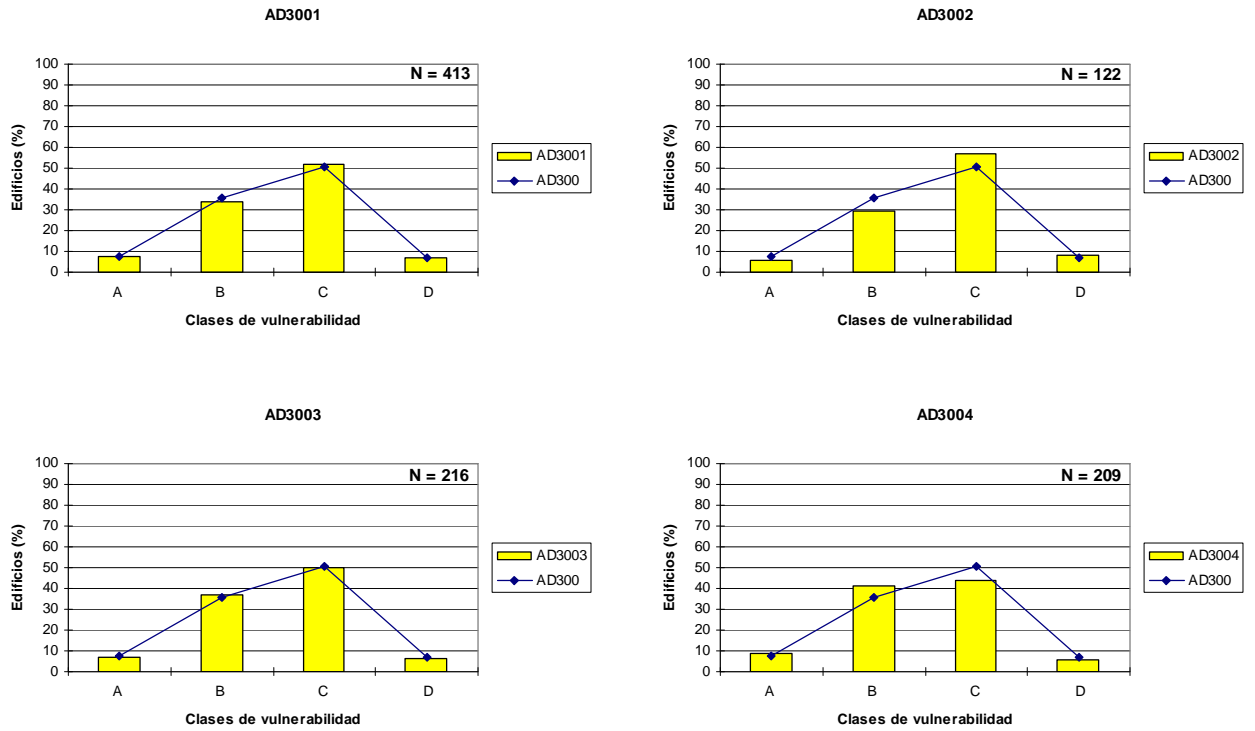


Figura A5.12. Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Ordino. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de la Massana

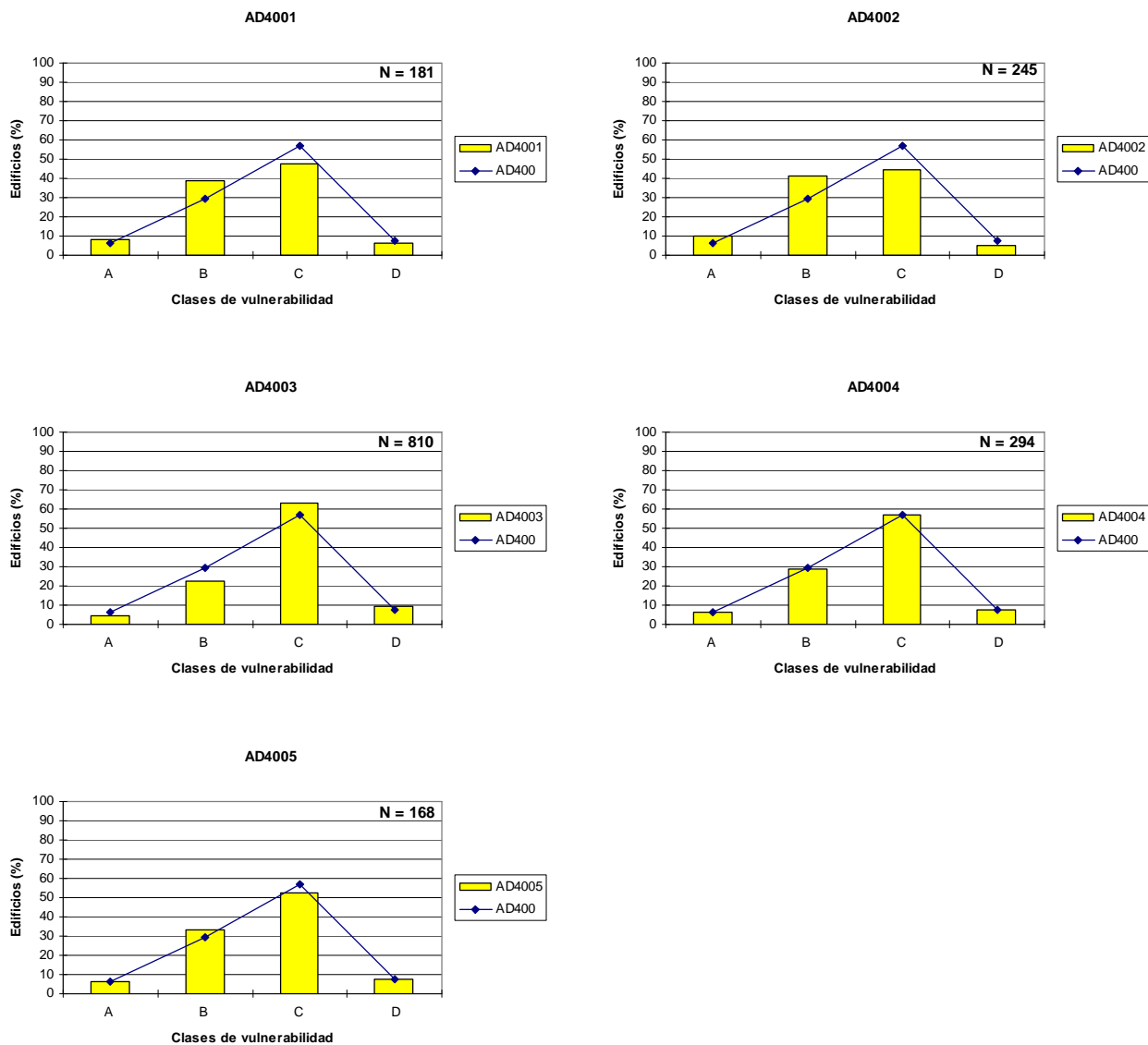


Figura A5.13. Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de la Massana. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Andorra la Vella

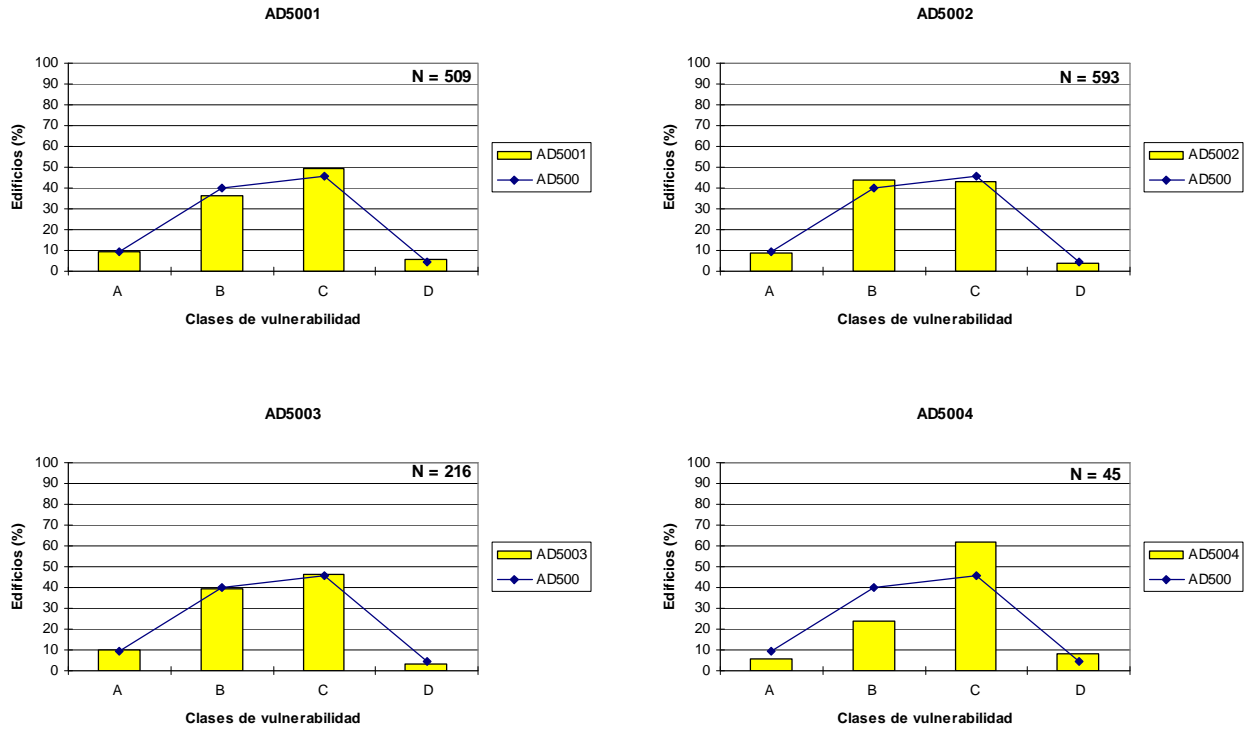


Figura A5.14. Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Andorra la Vella. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Sant Julià de Lòria

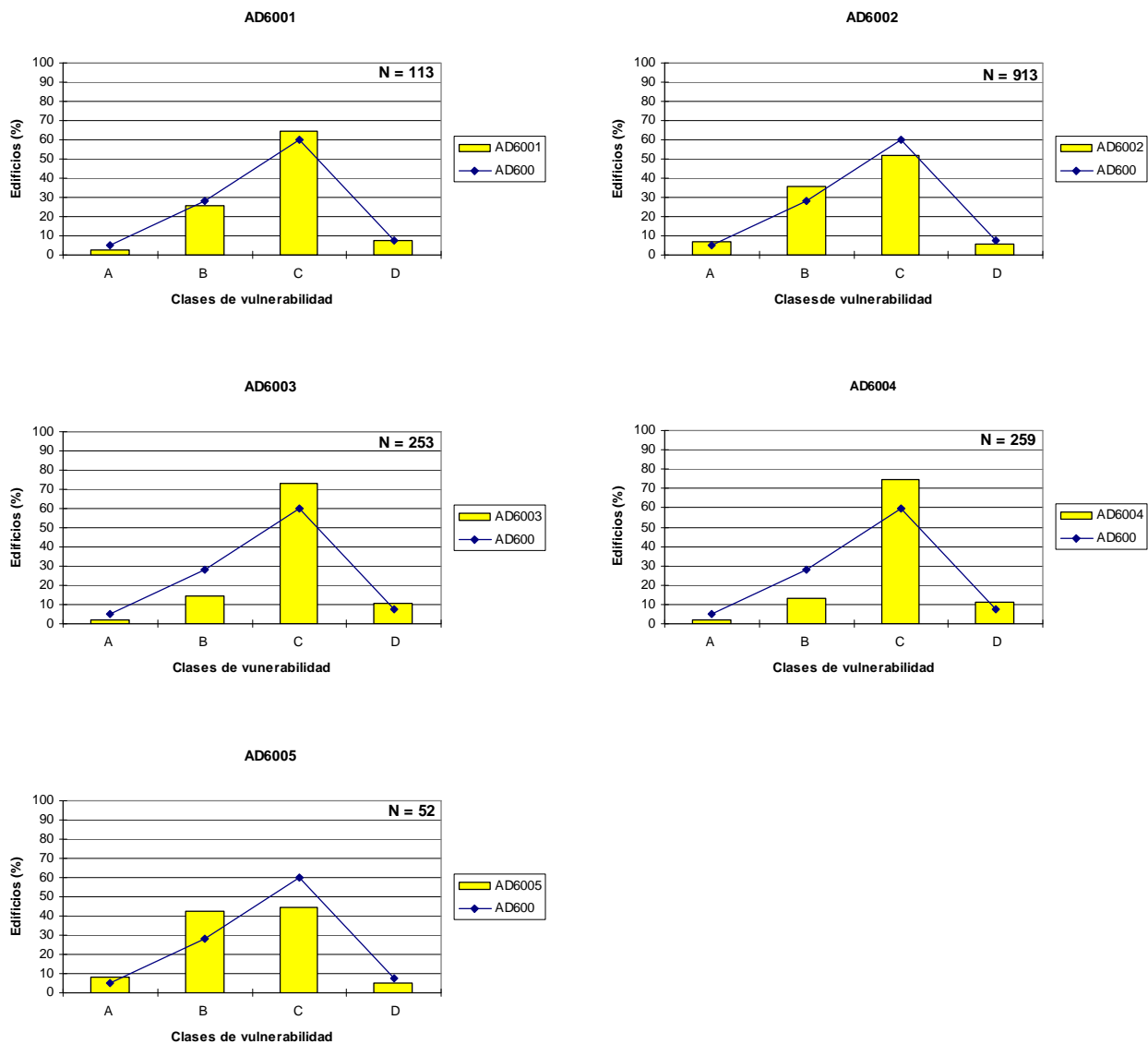


Figura A5.15. Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Sant Julià de Lòria. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Escaldes-Engordany

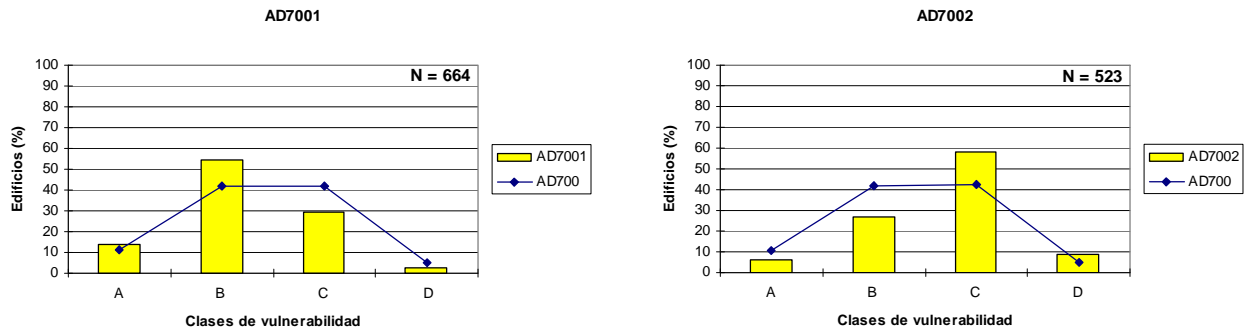


Figura A5.16. Distribución de las clases de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Escaldes-Engordany. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

14.5 Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos

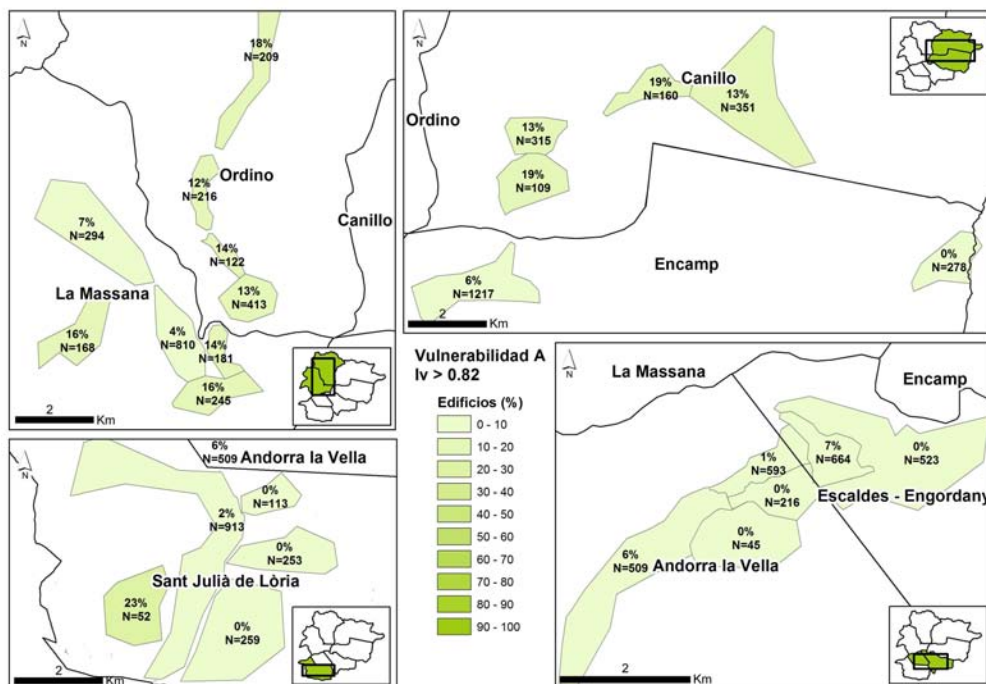


Figura A5.17. Distribución de los índices de vulnerabilidad equivalentes a la clase de vulnerabilidad A, según la relación de Giovinazzi y Lagomarsino (2004) y Giovinazzi (2005).

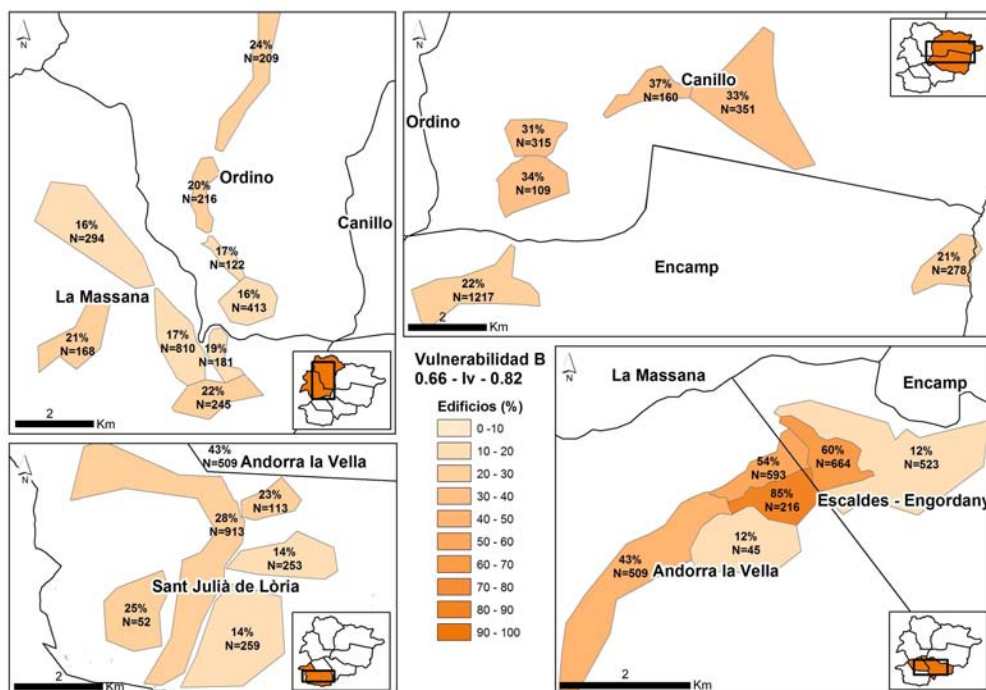


Figura A5.18. Distribución de los índices de vulnerabilidad equivalentes a la clase de vulnerabilidad B, según la relación de Giovinazzi y Lagomarsino (2004) y Giovinazzi (2005).

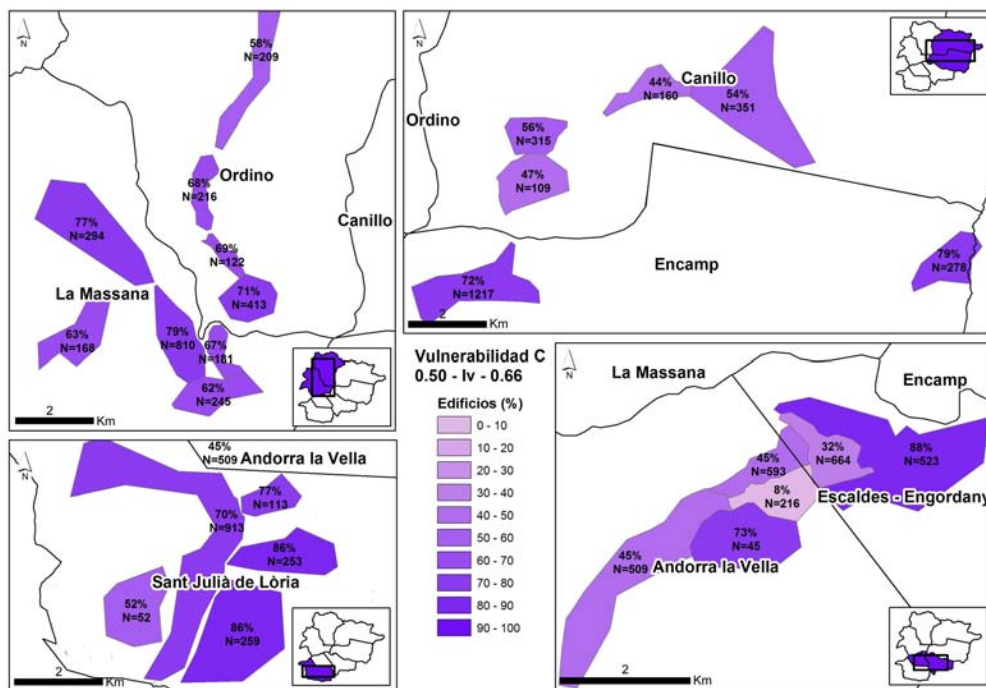


Figura A5.19. Distribución de los índices de vulnerabilidad equivalentes a la clase de vulnerabilidad C, según la relación de Giovanazzi y Lagomarsino (2004) y Giovanazzi (2005).

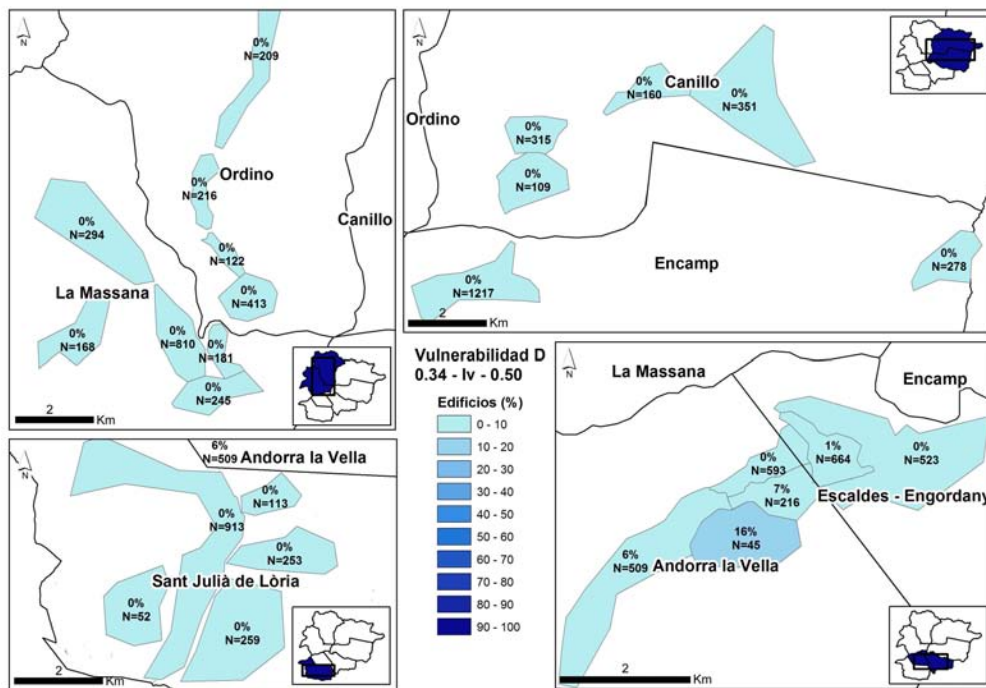


Figura A5.20 Distribución de los índices de vulnerabilidad equivalentes a la clase de vulnerabilidad D, según la relación de Giovanazzi y Lagomarsino (2004) y Giovanazzi (2005).

14.6 Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígono

Parroquia de Canillo

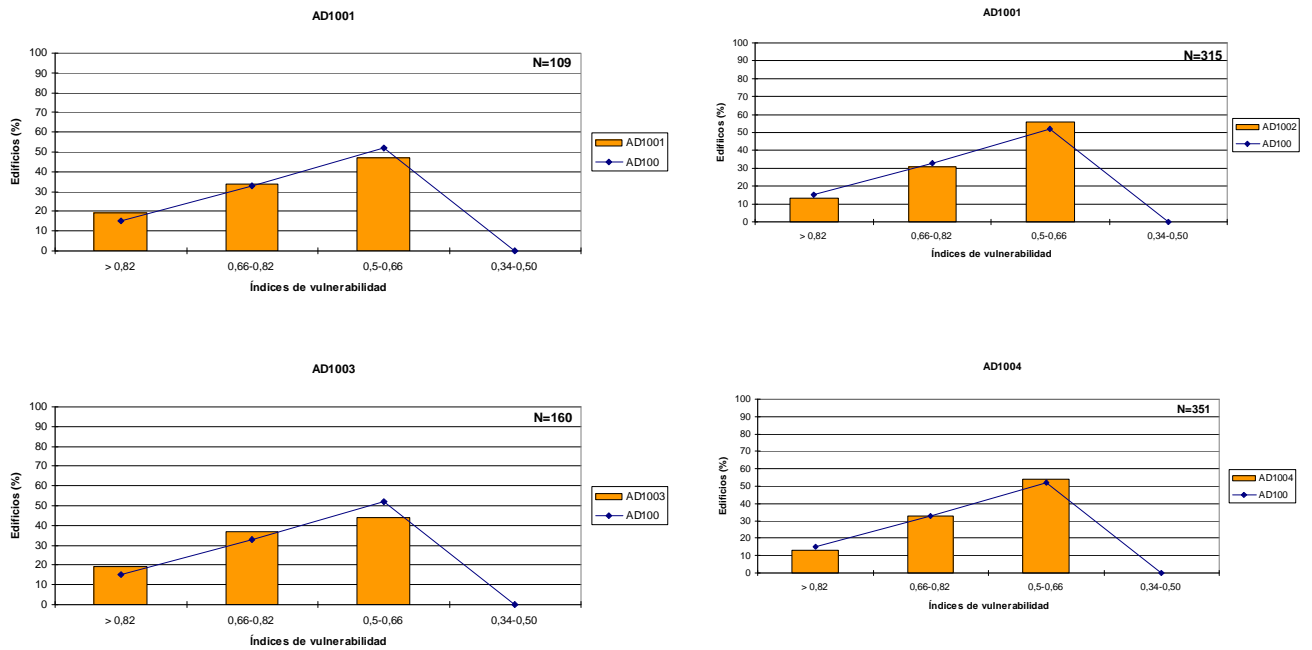


Figura A5.21. Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Canillo. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N respresenta el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Encamp

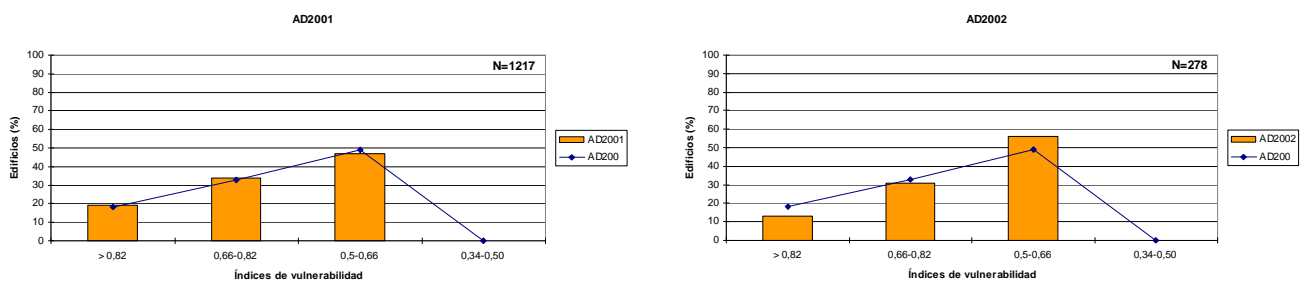


Figura A5.22. Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Encamp. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N respresenta el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Ordino

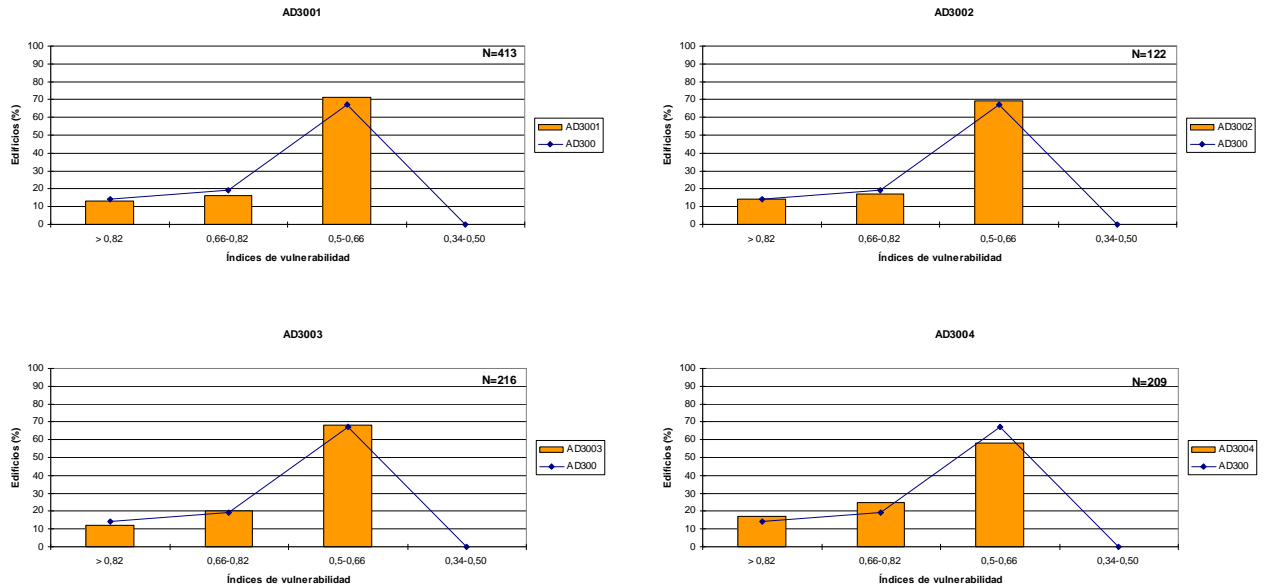


Figura A5.23. Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Ordino. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N respresenta el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de la Massana

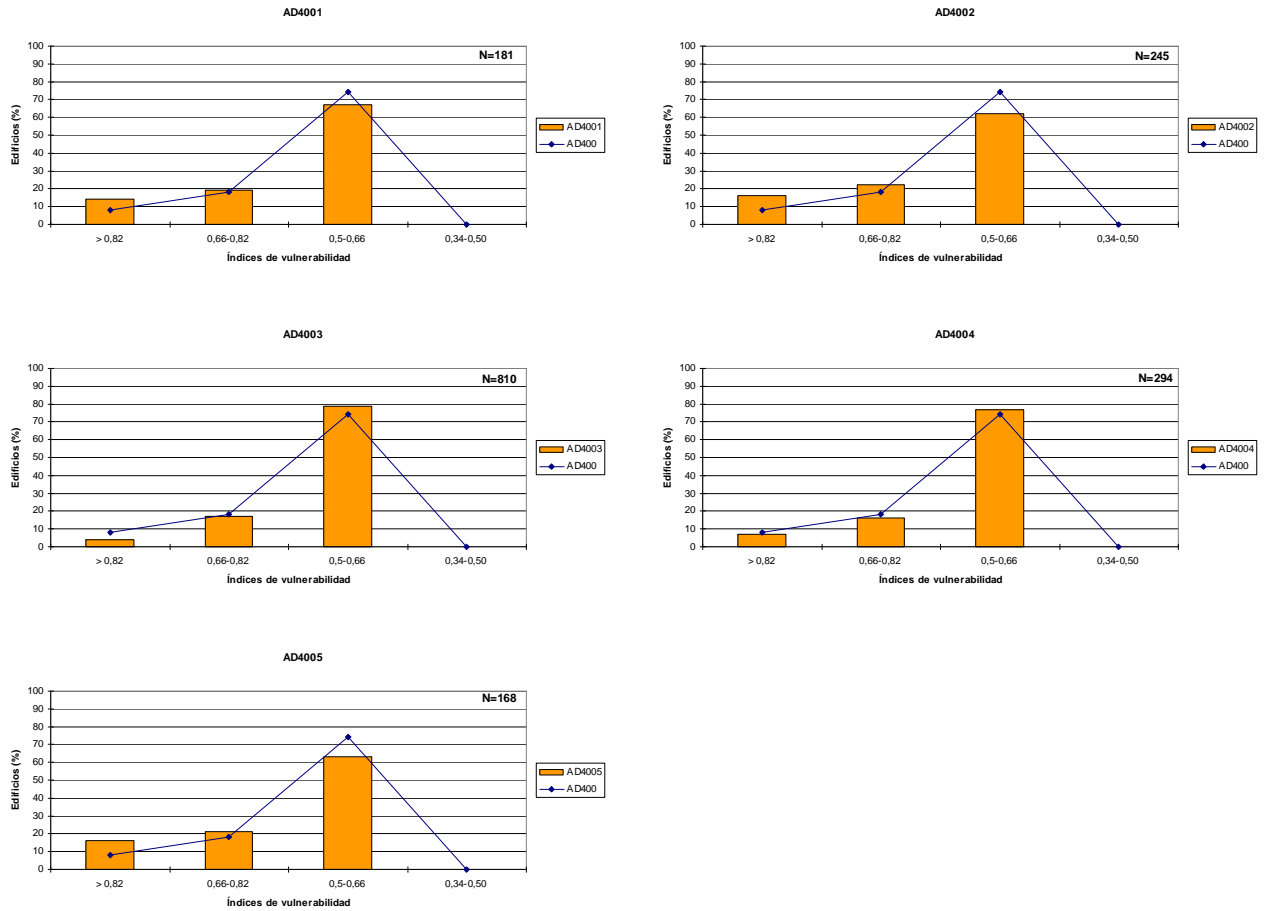


Figura A5.24. Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de la Massana. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Andorra la Vella

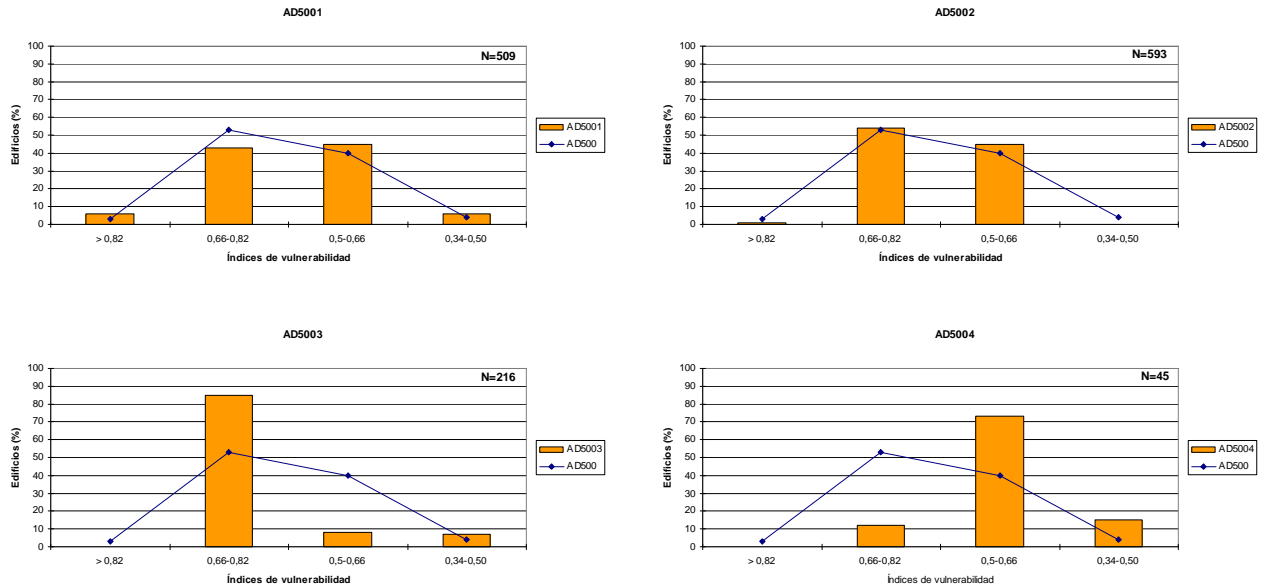


Figura A5.25. Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Andorra la Vella. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Sant Julià de Lòria

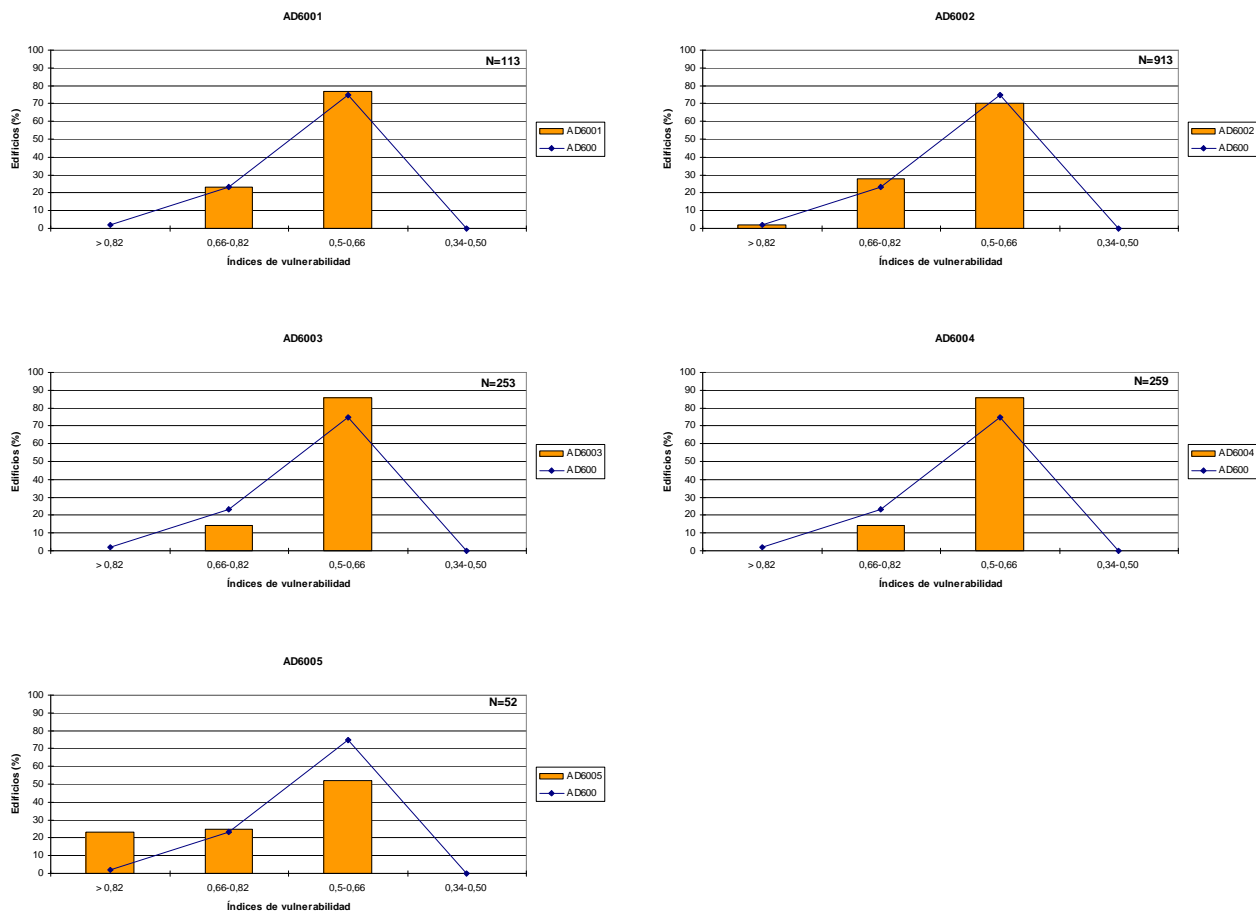


Figura A5.26. Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Sant Julià de Lòria. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Escaldes-Engordany

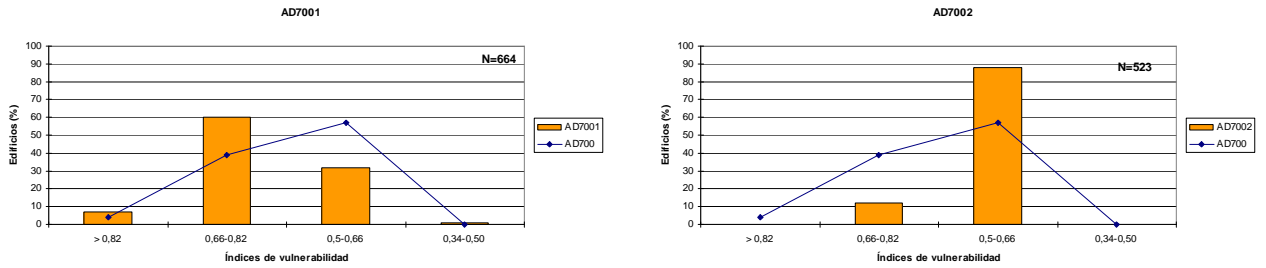


Figura A5.27. Distribución de los índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Escaldes-Engordany. En barras la distribución para el polígono y con línea la distribución media de la parroquia. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

14.7 Comparación entre clases e índices de vulnerabilidad

Parroquia de Canillo

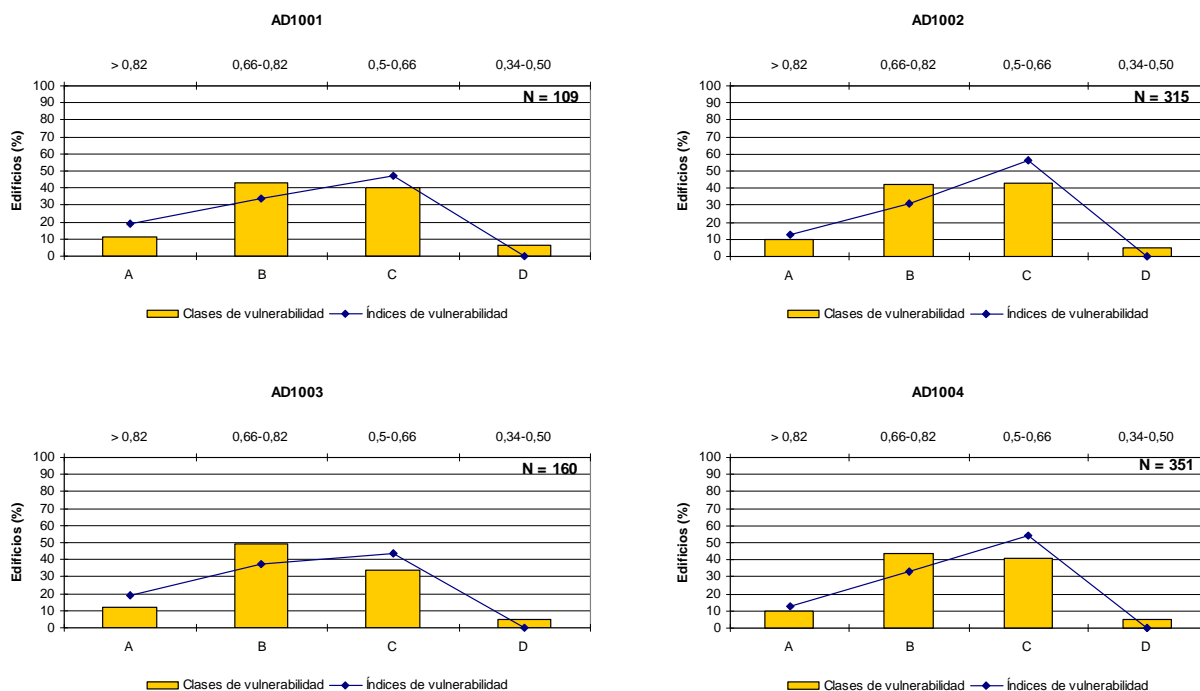


Figura A5.28. Comparación de las metodologías entre clases e índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Canillo. Con barras la metodología de clases de vulnerabilidad y con líneas la metodología de índices de vulnerabilidad. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Encamp

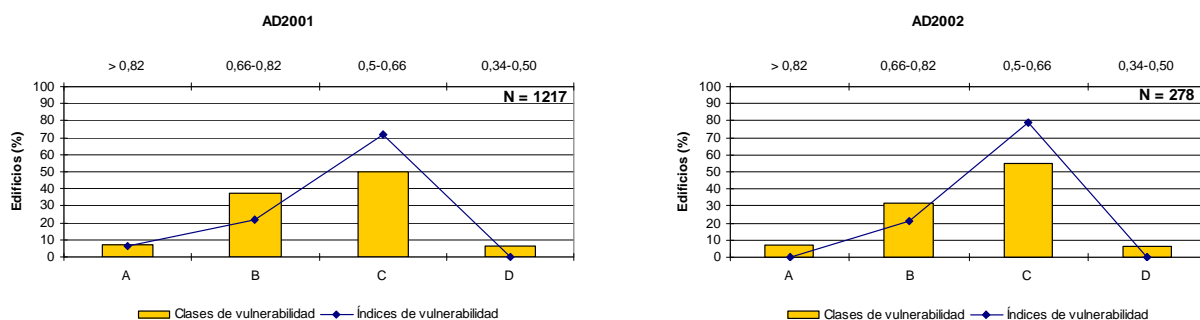


Figura A5.29 Comparación de las metodologías entre clases e índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Encamp. Con barras la metodología de clases de vulnerabilidad y con líneas la metodología de índices de vulnerabilidad. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Ordino

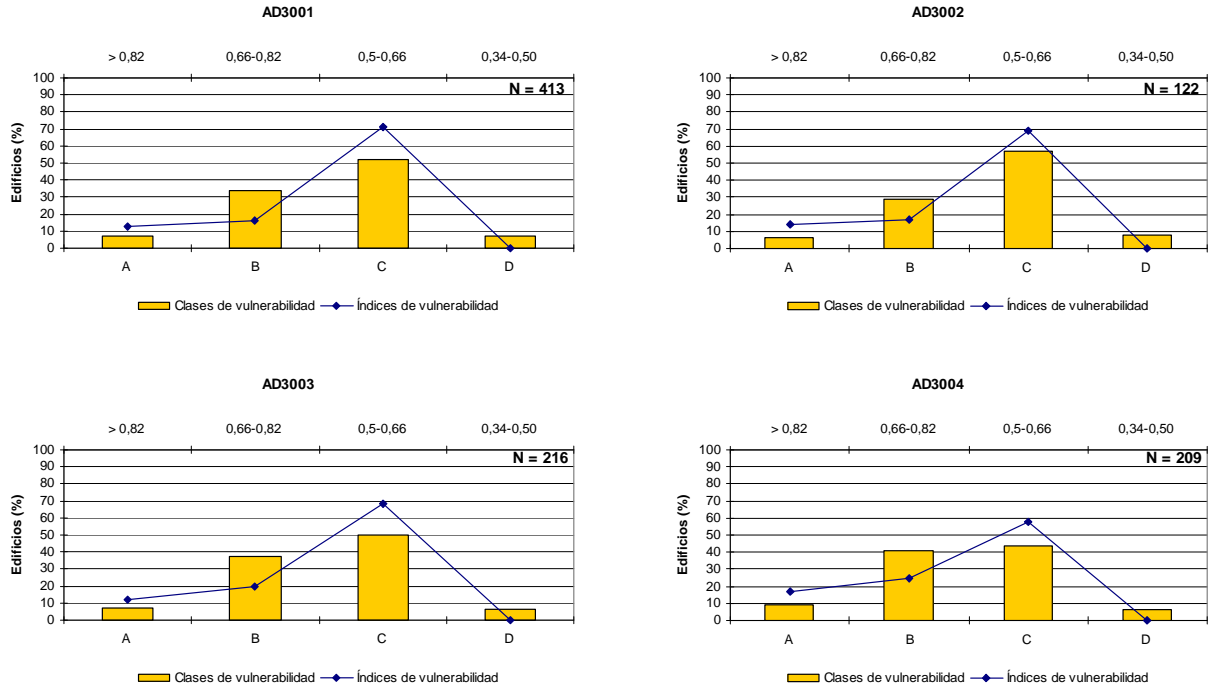


Figura A5.30. Comparación de las metodologías entre clases e índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Ordino. Con barras la metodología de clases de vulnerabilidad y con líneas la metodología de índices de vulnerabilidad. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de la Massana

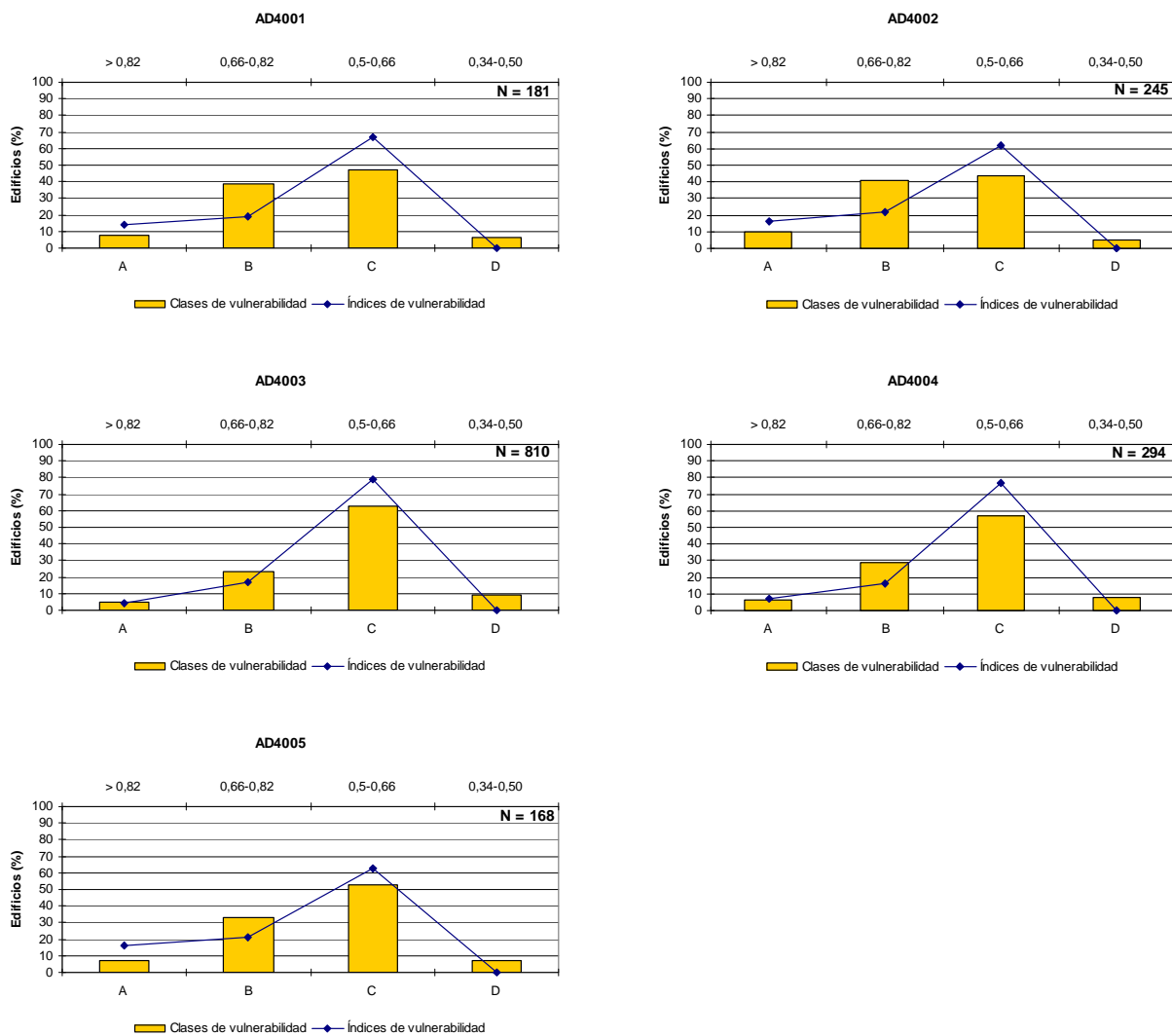


Figura A5.31. Comparación de las metodologías entre clases y índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de la Massana. Con barras la metodología de clases de vulnerabilidad y con líneas la metodología de índices de vulnerabilidad. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Andorra la Vella

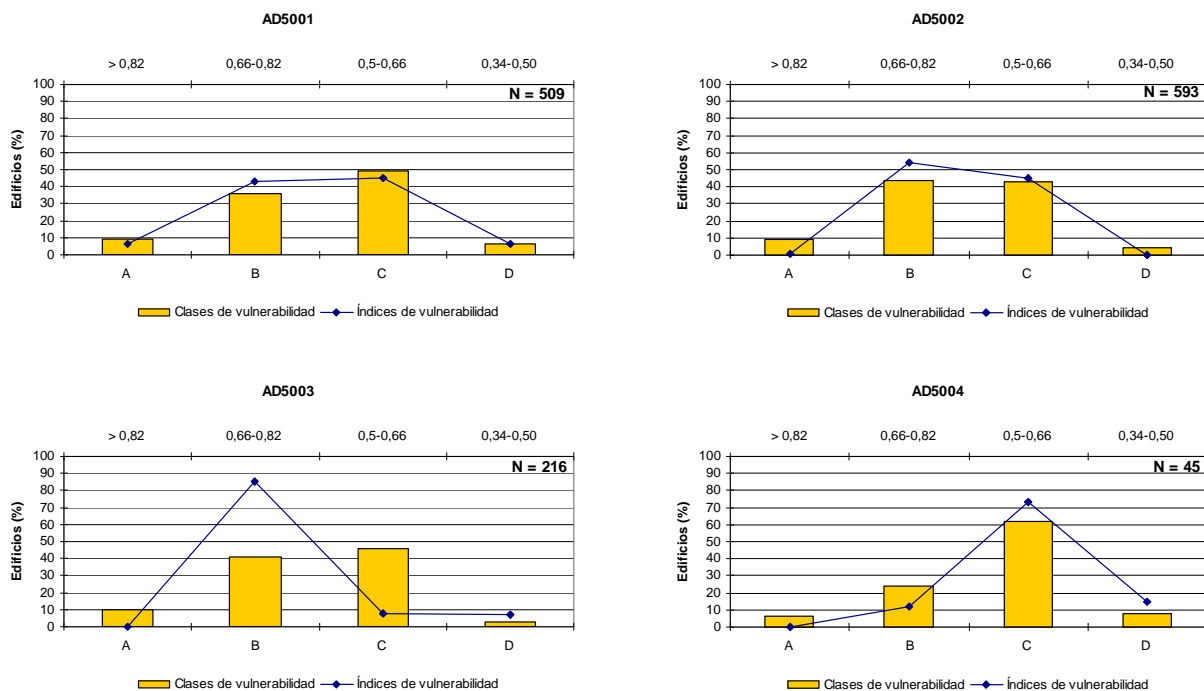


Figura A5.32. Comparación de las metodologías entre clases e índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Andorra la Vella. Con barras la metodología de clases de vulnerabilidad y con líneas la metodología de índices de vulnerabilidad. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Sant Julià de Lòria

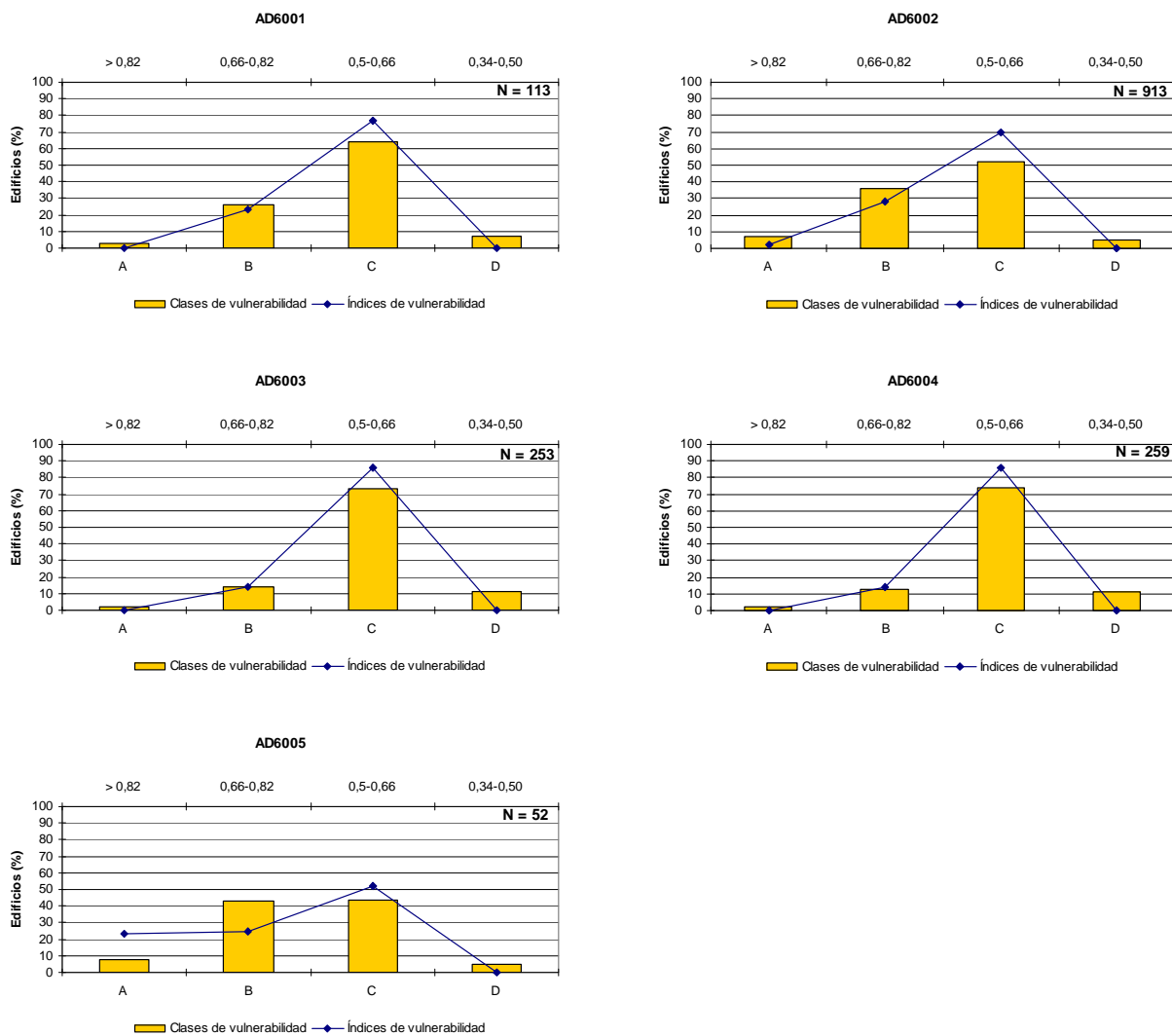


Figura A5.33. Comparación de las metodologías entre clases e índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Sant Julià de Lòria. Con barras la metodología de clases de vulnerabilidad y con líneas la metodología de índices de vulnerabilidad. Los valores están en porcentajes y N representa el número total de edificios para el polígono.

Parroquia de Escaldes-Engordany

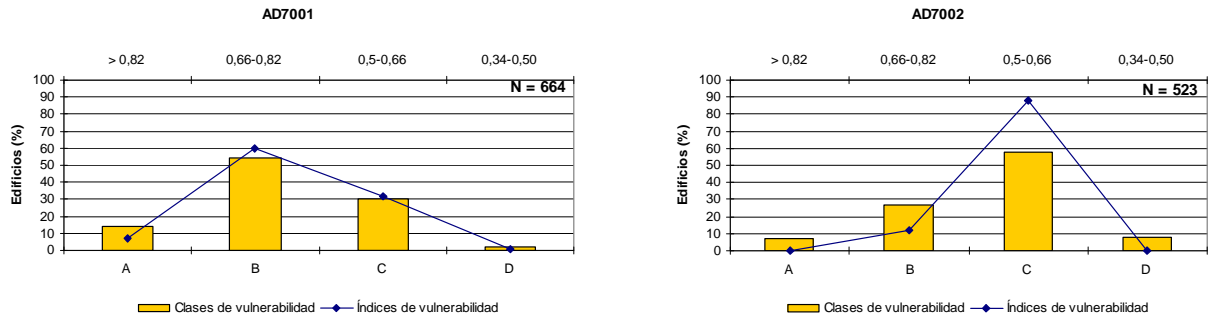


Figura A5.34. Comparación de las metodologías entre clases e índices de vulnerabilidad por polígonos para la parroquia de Escaldes-Engordany. Con barras la metodología de clases de vulnerabilidad y con líneas la metodología de índices de vulnerabilidad. Los valores están en porcentajes y N respresenta el número total de edificios para el polígono.

15 Anexo 6. Resultados

15.1. Daño a los edificios de vivienda

Descripción del contenido de las tablas utilizado para las tablas A6.1, A6.2, A6.3 y A6.4

Columna	Descripción
Cd_p	Código del polígono.
Nom_p	Nombre unidad de estudio
Pb_p	Población del polígono, según el censo de 2003.
Edi_p	Número de edificios de vivienda empleados en este estudio, según la base de datos SIG creada en este estudio (véase capítulo 4).
Hb_p	Habitantes por edificio, se ha calculado a partir de la población y del número de edificios de vivienda del polígono.
D0	Grado de daño 0 (en %)
D1	Grado de daño 1 (en %)
D2	Grado de daño 2 (en %)
D3	Grado de daño 3 (en %)
D4	Grado de daño 4 (en %)
D5	Grado de daño 5 (en %)
Edi_inh	Edificios inhabitables (en número de edificios)
D0	Grado de daño 0 (en %)
D1	Grado de daño 1 (en %)
D2	Grado de daño 2 (en %)
D3	Grado de daño 3 (en %)
D4	Grado de daño 4 (en %)
D5	Grado de daño 5 (en %)
Edi_inh	Edificios inhabitables (en número de edificios)
D0	Grado de daño 0 (en %)
D1	Grado de daño 1 (en %)
D2	Grado de daño 2 (en %)
D3	Grado de daño 3 (en %)
D4	Grado de daño 4 (en %)
D5	Grado de daño 5 (en %)
Edi_inh	Edificios inhabitables (en número de edificios)

15.2. Daño a la población

Descripción del contenido de las tablas para las tablas A6.5 y A6.6

Columna	Descripción
Cd_pl	Código del polígono.
Nom_pl	Nombre unidad de estudio
Pb_pl	Población del polígono, según el censo de 2003.
Hb_pl	Habitantes por edificio
Hom	Personas sin hogar, según la metodología de la ATC-13 (Escenario determinista)
H_lv	Heridos leves, según la metodología de la ATC-13 (Escenario determinista)
H_gv	Heridos graves, según la metodología de la ATC-13 (Escenario determinista)
Vc_m	Victimas mortales, según la metodología de la ATC-13 (Escenario determinista)
Hom	Personas sin hogar, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=475 años)
H_lv	Heridos leves, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=475 años)
H_gv	Heridos graves, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=475 años)
Vc_m	Victimas mortales, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=475 años)
Hom	Personas sin hogar, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=1975 años)
H_lv	Heridos leves, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=1975 años)
H_gv	Heridos graves, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=1975 años)
Vc_m	Victimas mortales, según la metodología de la ATC-13 (Escenario probabilista T=1975 años)

Descripción del contenido de las tablas para las tablas A6.7 y A6.8

Columna	Descripción
Cd_p	Código del polígono.
Pb_p	Población del polígono, según el censo de 2003.
Hb_p	Habitantes por edificio
H_c	Habitantes por edificio colapsado, según Coburn y Spence (1992) (Escenario determinista)
P_c	Personas casa, según Coburn y Spence (1992)
P_e	Personas escapan, según Coburn y Spence (1992)
P_a	Personas atrapadas, según Coburn y Spence (1992)
M_c	Muertos colapsado, según Coburn y Spence (1992)
H_gv	Heridos graves, según Coburn y Spence (1992)
H_lv	Heridos leves, según Coburn y Spence (1992)
M_pc	Muertos post-colapso, según Coburn y Spence (1992)
H_pc	Heridos post-colapso, según Coburn y Spence (1992)
H_c	Habitantes por edificio colapsado, según Coburn y Spence (1992) (Escenario probabilista T=475 años)
P_c	Personas casa, según Coburn y Spence (1992)
P_e	Personas escapan, según Coburn y Spence (1992)
P_a	Personas atrapadas, según Coburn y Spence (1992)
M_c	Muertos colapsado, según Coburn y Spence (1992)
H_gv	Heridos graves, según Coburn y Spence (1992)
H_lv	Heridos leves, según Coburn y Spence (1992)
M_pc	Muertos post-colapso, según Coburn y Spence (1992)
H_pc	Heridos post-colapso, según Coburn y Spence (1992)
H_c	Habitantes por edificio colapsado, según Coburn y Spence (1992) (Escenario probabilista T=475 años)
P_c	Personas casa, según Coburn y Spence (1992)
P_e	Personas escapan, según Coburn y Spence (1992)
P_a	Personas atrapadas, según Coburn y Spence (1992)
M_c	Muertos colapsado, según Coburn y Spence (1992)
H_gv	Heridos graves, según Coburn y Spence (1992)
H_lv	Heridos leves, según Coburn y Spence (1992)
M_pc	Muertos post-colapso, según Coburn y Spence (1992)
H_pc	Heridos post-colapso, según Coburn y Spence (1992)

