



Programme opérationnel Interreg IVA  
France-Espagne-Andorre 2007 – 2013



# SISPYR

**Sistema de Información Sísmica del Pirineo**  
**Système d'Information Sismique des Pyrénées**

## Riesgo sísmico de edificios de vivienda de Val d'Aran y Luchonnais Modulo 4.2



**IGC**  
Institut Geològic  
de Catalunya



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



MINISTERIO  
DE FOMENTO

Instituto  
Geográfico Nacional



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

Principal contributeur : Daniel Monfort, Nieves Lantada, Janira Irizarry, Bastien Colas, Alex Barbat, Xavier Goula y Jessica Rodríguez.

2013-04-16





#### Resumen:

Se presenta la evaluación del daño sísmico esperado, a nivel estadístico, en los municipios de la zona pirenaica formada por las comarcas de Saint-Béat y Luchon (Francia) y de la Val d'Aran (España). Esta zona ha sido seleccionada por la actividad sísmica observada y por su importante carácter turístico. El análisis de la vulnerabilidad sísmica de los edificios se realiza mediante el Método del Índice de Vulnerabilidad propuesto por RISK-UE. Este método define unos tipos constructivos basándose en las clases de vulnerabilidad de la escala de intensidades EMS-98. A partir de estos índices de vulnerabilidad y para un determinado nivel de acción sísmica se estima mediante funciones semi-empíricas la distribución del daño físico. Se han identificado las tipologías constructivas más representativas de los edificios residenciales de la zona, y su distribución por unidades de estudio, asociándolas a índices de vulnerabilidad, así como en edificios singulares; dicha información se ha integrado en un Sistema de Información Geográfico (SIG). La obtención de los escenarios se ha hecho a partir de las intensidades observadas e interpretadas del terremoto de Vielha en 1923 (VIII) y de un escenario de peligrosidad sísmica probabilista. La repartición de los estados de daño físico directo obtenidos permiten estimar otros aspectos, como daños a la población y costes económicos. Estos resultados serán útiles para la prevención y la protección civil de la zona.

#### Autores/Auteurs:

D. Monfort<sup>1</sup>, N. Lantada<sup>2</sup>, J. Irizarry<sup>3</sup>, B. Colas<sup>1</sup>, A. Barbat<sup>2</sup>, X. Goula<sup>3</sup> y J. Rodriguez<sup>2</sup>

Palabras clave: riesgo sísmico, vulnerabilidad, escenarios, RISK-UE, Pirineos

- 
1. BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières
  2. UPC, Universitat Politècnica de Catalunya
  3. IGC, Institut Geològic de Catalunya



## ÍNDICE

1. Introducción.....	8
2. Metodología .....	9
2.1. Peligrosidad Sísmica.....	11
2.1.1. Escenario Probabilista .....	11
2.1.2. Sismo histórico de referencia, Vielha 1923.....	12
2.2. Datos y Cartografía .....	13
2.3. Análisis de la vulnerabilidad .....	15
3. Resultados .....	22
3.1. Daño físico directo .....	22
3.2. Daños a la población.....	24
3.3. Síntesis y comparación de resultados.....	25
3.3.1. Metodología Nivel Cero (N0) .....	26
4. Conclusiones.....	28
5. Referencias bibliográficas .....	30
ANEXO. Tipologías CONSTRUCTIVAS.....	33

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Situación de la zona de estudio .....	8
Figura 2 - Clasificación del daño en edificios de mampostería y de hormigón armado según la escala EMS'98 (Grunthäl, 1998).....	9
Figura 3 - Mapa de peligrosidad sísmica en términos de marcointensidad (periodo de retorno de 475 años) (Irizarry et al, 2007). .....	11
Figura 4 - Incremento de intensidad macrosísmica para cada unidad urbana. ....	12
Figura 5 - Distribución de intensidades observadas e interpretadas y epicentro del terremoto de 1923. ....	13
Figura 6 - Ejemplo de digitalización de las unidades de estudio en base a ortofotos del ICC: núcleo de Casau (izquierda) y Vilac (derecha). ....	14
Figura 7 - Ejemplo de construcción de zonas: mapa topográfico de 1971 (izquierda) y mapa topográfico más reciente (derecha). La construcción de la mayoría de los edificios es posterior a 1971.....	15
Figura 8 - Ejemplos representativos de las principales tipologías de edificios residenciales.....	17
Figura 9 - Distribución de los edificios de viviendas por tipos.....	19
Figura 10 - edificio en el centro de Luchon (muro portante de mampostería de piedra) con dos plantas añadidas.....	20
Figura 11 - reforma completa de casa típica en el centro del núcleo de Salardú (Val d'Aran). Mezcla de diferentes materiales: mampostería de ladrillo y piedras (revestimiento exterior, ornamental), planchas de hormigón y pilares metálicos..	20
Figura 12 - antiguo edificio de viviendas de mampostería en Saint-Béat. Ha añadido los lavabos posteriormente (a la izquierda). ....	20
Figura 13 - interior de un edificio en restauración en Luchon. Los trabajos conservan las vigas de madera.....	20
Figura 14 - edificio en el centro histórico de Luchon. La planta baja es un local comercial. ....	20
Figura 15 - casa unifamiliar con sistema portante de pórticos de hormigón y muros de relleno de mampostería (Cierp-Gaud). ....	20
Figura 16 - casa aislada en construcción, de muros portantes de mampostería. Presenta aberturas en todas las fachadas y forma irregular en planta.....	21
Figura 17 - casa unifamiliar en construcción en Luchon.....	21
Figura 18 - edificio en hormigón prefabricado, tipología constructiva muy poco frecuente en la zona. ....	21
Figura 19 - edificio de viviendas en Luchon (años 80) sistema de pórticos.....	21
Figura 20 - construcción unifamiliar reciente (posterior a 2005). ....	21
Figura 21 - edificio de viviendas de construcción reciente. ....	21
Figura 22 - Distribución de los daños en los edificios de vivienda en Val d'Aran y en Luchon – Saint Béat para: (a) escenario determinista y (b) probabilista. ....	22
Figura 23 - Distribución de los daños de grado D3 (severos) en la zona estudiada: (a) escenario determinista y (b) escenario probabilista .....	23



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipología de construcciones de la zona de estudio.....	16
Tabla 2. Síntesis de resultados para el escenario determinista (sismo de Vielha, 1923).....	25
Tabla 3 Síntesis de resultados del municipio de Vielha-Mijaran. ....	27
Tabla 4. Síntesis de resultados para Bagnères de Luchon. ....	27

# 1. Introducción

Este documento presenta los escenarios de riesgo sísmico realizados en una zona transfronteriza del Pirineo que comprende la comarca de la Val d'Aran en España y los cantones de Luchon y Saint-Béat en Francia (Figura 1).

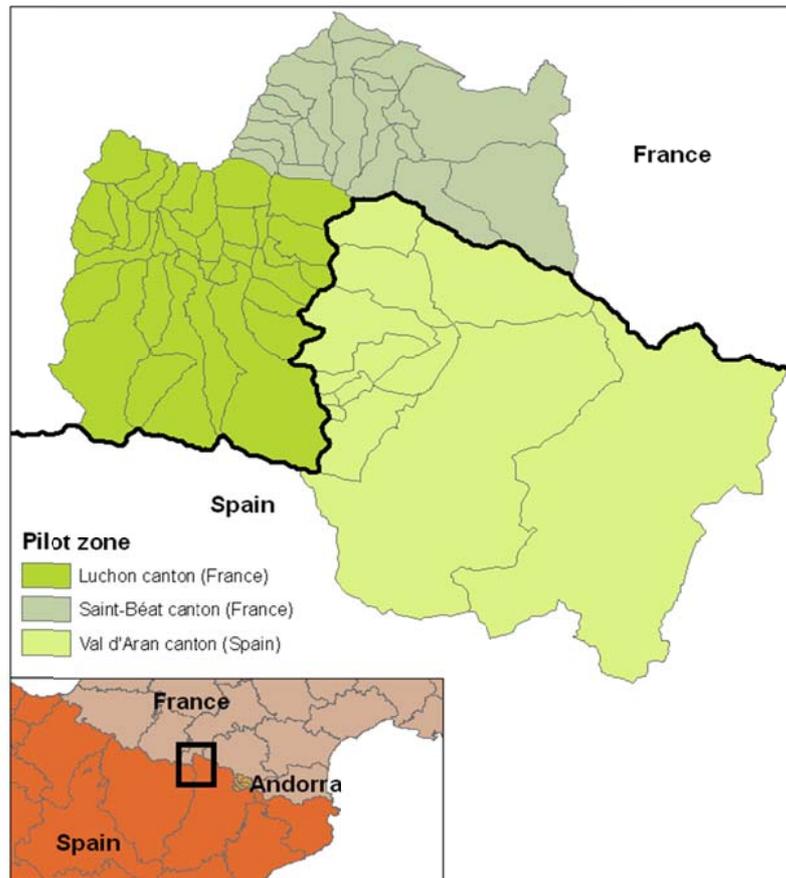


Figura 1 - Situación de la zona de estudio

El interés de estudio de esta zona es múltiple. Por un lado se trata de una zona con sismicidad media y con seísmos recientes, uno de magnitud 4.8 en 1999 (epicentro en Lege, Francia), y el terremoto de intensidad VIII de 1923 con epicentro situado a 10 km al Suroeste del núcleo de Vielha (España). En términos de sismicidad, toda la zona del lado francés está clasificada como de peligrosidad media (*Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »*, código sísmico francés publicado el 24 de octubre 2010, [planseisme.fr](http://planseisme.fr)) lo cual es el nivel más alto del territorio francés continental (aceleración en roca 0.16g). La aceleración en España según la normativa sísmica española (NCSE, 2002) para los municipios de la comarca de Val d' Aran es de 0.04g.

Por otro lado se trata de una zona con una gran afluencia turística, incrementándose de manera importante la población durante la estación invernal al localizarse en la región varias estaciones de ski alpino. Esta zona comprende un total de 53 municipios en Francia y 9 municipios en España, con una población permanente de 5609 y 3802 en las comarcas de Luchon y Saint-Béat respectivamente (datos censo 2006); y de 10203 en la Val d'Aran (según el censo del 2010), siendo el municipio más poblado el de Vielha-Mijaran (5633 habitantes).



El primer objetivo del presente estudio es identificar los tipos constructivos de los edificios de vivienda más característicos de la zona y analizar su vulnerabilidad sísmica. A continuación se aplica el método del índice de vulnerabilidad desarrollado en el proyecto europeo RISK-UE (2003) (Mouroux et al., 2004) y se elaboran escenarios de riesgo sísmico para estimar los posibles daños físicos en los edificios que podrían ser provocados por un terremoto. Estos escenarios pueden ser de gran utilidad para las administraciones y los servicios de protección civil de ambos países.

## 2. Metodología

En el presente estudio se emplea principalmente la metodología denominada de Nivel I propuesta en el proyecto Risk-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003) para evaluar la vulnerabilidad de los edificios residenciales, basada en el método del índice de vulnerabilidad. Dicha metodología clasifica el parque constructivo de la zona de estudio en clases de vulnerabilidad apoyándose en visitas de campo y datos estadísticos (Lantada et al. 2010, Sedan et al. 2008).

En este método, la acción sísmica se caracteriza mediante la intensidad macrosísmica EMS'98 (Grunthäl, 1998) y el edificio mediante un índice de vulnerabilidad. Los índices oscilan entre un valor de cero a uno, siendo los valores más cercanos a cero los correspondientes a los edificios menos vulnerables, mientras los valores más cercanos a uno corresponden a los edificios más vulnerables. La escala EMS'98 considera cinco grados o estados de daño (Figura 2).

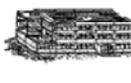
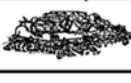
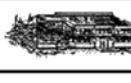
Clasificación del daño en los edificios de mampostería	Clasificación del daño en los edificios de hormigón armado
 <p><u>Grado 1: Daño leve.</u> (Sin daño estructural; daño no estructural leve). Grietas finas en muy pocas paredes, caída de pequeños trozos del yeso o enlucido. En muy pocos casos se produce la caída de piedras sueltas de las partes altas del edificio.</p>	 <p><u>Grado 1: Daño leve.</u> (Sin daño estructural; leve daño no estructural). Grietas finas en el yeso sobre los elementos estructurales en la base de las paredes y en las paredes de separación y de relleno.</p>
 <p><u>Grado 2: Daño moderado.</u> (Daño estructural leve; daño no estructural moderado). Grietas en muchas paredes y caída de trozos bastante grandes del yeso</p>	 <p><u>Grado 2: Daño moderado.</u> (Daño estructural moderado; daño no estructural moderado). Grietas en las columnas, vigas, muros estructurales y en las paredes de relleno. Caída de trozos de yeso y de mortero de las juntas de las paredes.</p>
 <p><u>Grado 3: Daño severo.</u> (Daño estructural moderado, daño no estructural considerable). Grandes grietas en la mayoría de las paredes, tejas del tejado sueltas y rotura de las chimeneas al nivel del suelo. Rotura de elementos no estructurales individuales (particiones, hastiales, etc.).</p>	 <p><u>Grado 3: Daño severo.</u> (Daño estructural moderado, daño no estructural considerable). Roturas en las columnas y en las juntas viga-columna a nivel del suelo. Deformación del acero de refuerzo, grandes grietas en las paredes de relleno y caída de paneles de relleno aislados.</p>
 <p><u>Grado 4: Daño muy severo.</u> (Daño estructural severo, daño no estructural muy severo). Roturas graves en los muros y derrumbe estructural parcial de suelos y techos.</p>	 <p><u>Grado 4: Daño muy severo.</u> (Daño estructural severo, daño no estructural muy severo). Grandes grietas en los elementos estructurales con fallos a compresión del hormigón y fallo de las uniones de las vigas. Deformación de las columnas y colapso de algunas columnas o de algún piso superior.</p>
 <p><u>Grado 5: Destrucción.</u> (Daño estructural muy severo). Colapso total o casi total del edificio</p>	 <p><u>Grado 5: Destrucción.</u> (Daño estructural muy severo). Colapso del primer piso o partes del edificio.</p>

Figura 2 - Clasificación del daño en edificios de mampostería y de hormigón armado según la escala EMS'98 (Grunthäl, 1998).

El método del índice de vulnerabilidad (RISK-UE) incluye cualitativa y cuantitativamente 6 grados de daño: el estado de daño nulo o sin daño, denominado aquí como D0, y cinco estados de daño: Leve (D1), Moderado (D2), Severo (D3), Muy Severo (D4) y Destrucción (D5) (Grünthal, 1998).

Por otra parte, la escala macrosísmica EMS'98, establece que el daño causado por los terremotos se distribuye siguiendo una distribución binomial o una distribución de probabilidad beta equivalente (Giovinazzi y Lagomarsino, 2002), que resulta más versátil, cuya función de densidad viene dada por:

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

Dónde  $\Gamma(t)$  es la función Gamma,  $a$  y  $b$  están relacionados con el intervalo de definición de la función de densidad de probabilidad, y por lo tanto con el número de estados de daño, por lo que toman valores 0 y 6 respectivamente. El parámetro de dispersión  $t$  y el parámetro  $r$ , de ajuste entre la distribución Binomial (de parámetro  $\mu_D$ ) y la distribución Beta definida por la ecuación (1), se relacionan entre sí mediante la ecuación (2) (Giovinazzi y Lagomarsino, 2002). De esta forma se consigue una distribución binomial equivalente que se ajusta imponiendo que el factor de daño medio o nivel de daño esperado sea el mismo.

$$q = t(0.007 * \mu_D^3 - 0.052 * \mu_D^2 + 0.287 * \mu_D) \quad t=r \quad (2)$$

donde  $\mu_D$  es el llamado *Estado o Grado de Daño Medio*, y puede considerarse el estado de daño más probable de la estructura, tomando valores entre 0 y 5.

Para cada edificio, el grado de daño medio  $\mu_D$ , se estima a partir de su índice de vulnerabilidad  $V_i$  y de la correspondiente intensidad sísmica  $I$ , según una función semiempírica, ecuación (3) propuesta por Giovinazzi y Lagomarsino (2002) a partir de la información de daños observados en terremotos pasados.

$$\mu_D = 2.5 \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25V_i - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (3)$$

La probabilidad de que se dé un nivel de daño  $x$ , viene dada por la integral entre  $a$  y  $x$  de la función  $p_{\beta}(x)$ , es decir:

$$P_{\beta}(x) = \int_a^x p_{\beta}(\epsilon) d\epsilon \quad (4)$$

En el caso de estados de daño discretos definidos por los niveles de daño  $k$ , ( $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ ) las probabilidades de cada estado de daño se definen mediante (5) y la probabilidad de que se iguale o exceda un determinado estado o nivel de daño se define mediante la ecuación (6).

$$p_k = P_{\beta}(k+1) - P_{\beta}(k) \quad (5)$$

$$P(D \geq D_k) = 1 - P_{\beta}(k) \quad (6)$$

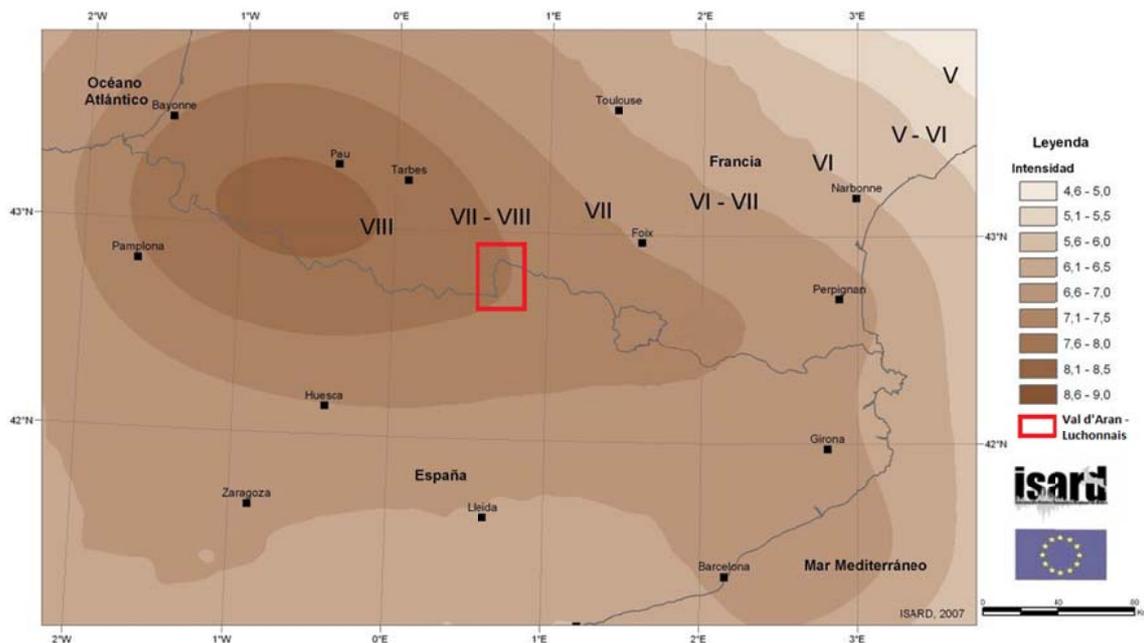


## 2.1. Peligrosidad Sísmica

A continuación se presentan los dos escenarios de peligrosidad para los cuales se estimarán los posibles daños en la zona piloto.

### 2.1.1. Escenario Probabilista

En base al estudio de peligrosidad sísmica en la zona pirenaica realizado en el marco del proyecto ISARD (ISARD, 2006; Goula et al., 2007), se ha adoptado una intensidad de referencia de VII-VIII para un periodo de retorno de 475 años (Irizarry et al., 2007) (Figura 3).



**Figura 3 - Mapa de peligrosidad sísmica en términos de intensidad (periodo de retorno de 475 años) (Irizarry et al., 2007).**

La geología local puede ser responsable de importantes modificaciones en el movimiento sísmico del suelo, en amplitud y también en frecuencia. Por ello es esencial tenerla en cuenta en la generación del escenario sísmico. En este estudio, los efectos de suelo se han tenido en cuenta mediante mapas de zonas de respuesta sísmica homogénea y espectros de aceleración incluyendo los efectos de suelo específicos para cada una de estas zonas. Los espectros con efectos de suelo han sido calculados mediante una simulación lineal equivalente 1D (Roullé et al. 2013 y Macau et al. 2012).

La interpretación combinada de datos geológicos, geotécnicos y geofísicos fue realizada por (referencia) con el objetivo de identificar las zonas con geología homogénea y frecuencia de resonancia y para definir la representación 1D de las columnas de suelo para cada una de las zonas. Con estas columnas y para cada zona definida, (Roullé et al. (2013), Macau et al. (2012)) se calculó un espectro de aceleración específico empleando los resultados del estudio probabilista llevado a cabo en el proyecto ISARD (Secanell et al., 2008) como datos de aceleración de entrada. Después, estos coeficientes de

amplificación fueron transformados en incrementos de intensidad macrosísmica siguiendo el procedimiento recomendado por Macau (2008). La Figura 4 muestra los incrementos de intensidad macrosísmica considerados para cada unidad urbana.

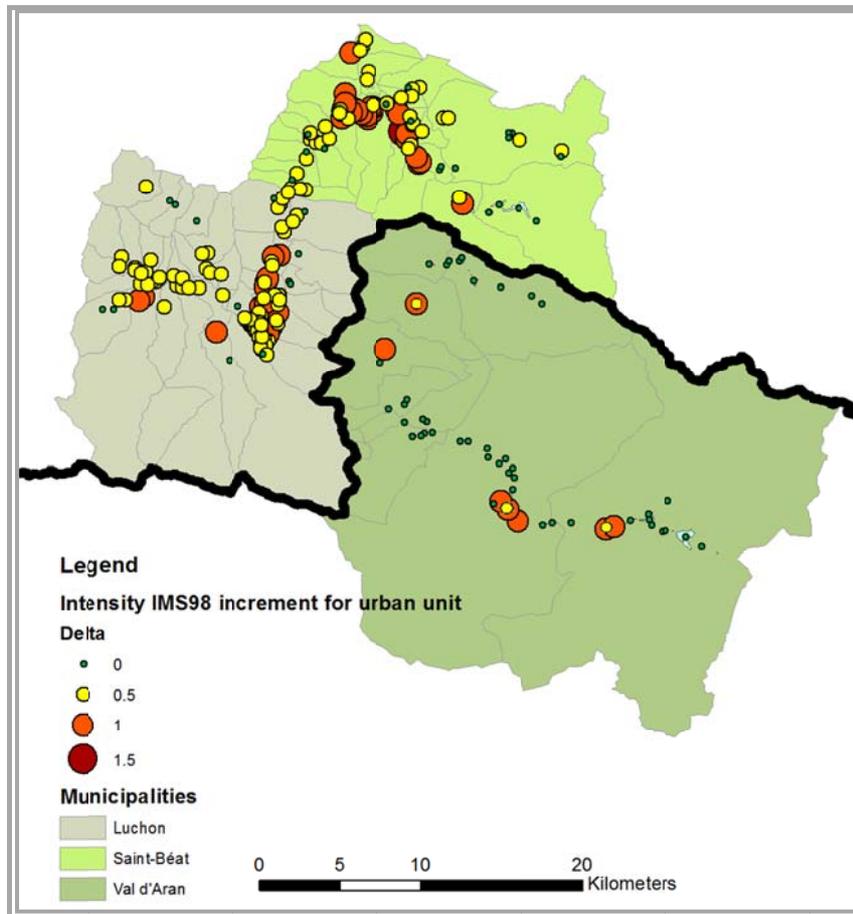


Figura 4 - Incremento de intensidad macrosísmica para cada unidad urbana (Roullé et al. (2013), Macau et al. (2012)).

### 2.1.2. Sismo histórico de referencia, Vielha 1923

En lo que respecta a los seísmos históricos de la zona hay que destacar diversos terremotos de gran intensidad ocurridos en la zona a lo largo de los tiempos. En el año 1373 tuvo lugar un seísmo que, con una intensidad epicentral de VIII-IX, devastó una amplia zona de la Ribagorza (Olivera et al., 2006). En 1427 y 1428 tuvo lugar, en el Pirineo Oriental, una serie sísmica con intensidades máximas entre VIII-IX y IX (Olivera et al., 2006). En 1660, la parte Central de la cordillera sufrió una sacudida destructora de intensidad VIII-IX. En la comarca de Luchon y en la comarca vecina de Haut-Comminges durante el siglo XIX hubo varios seísmos, como los de 1870, 1855 y 1813 con intensidades máximas de VII (Sisfrance, 2012). En el marco del presente trabajo se presenta un escenario de riesgo sísmico determinista, basado en la estimación de intensidades del seísmo ocurrido en 1923, con epicentro cercano a Vielha e intensidades máximas observadas entre VIII y VII. Para todos los municipios de la zona de estudio se ha asignado una intensidad de este evento, como se puede observar en la (Figura 5), que se basan en datos observados (Susagna et al., 1994), y en la estimación de las intensidades no observadas mediante una función de atenuación de la intensidad con la distancia al epicentro realizada por el IGC.



Los daños más fuertes de este seísmo fueron en Vielha (intensidad VIII), donde según varias fuentes se derrumbaron varias cuadras ocasionando la muerte de cuatro caballerías (La Vanguardia, 1923). Del lado francés, en Bagnères de Luchon (intensidad VII) se agrietaron muros, chimeneas y techumbres (Sisfrance, 2012; Le Midi socialiste, 1923). En toda la parte más baja de la Val d'Aran, entre Vielha y la frontera francesa, las intensidades observadas también fueron de VII, así como en localidades del valle entre Luchon y Cierp-Gaud (Figura 5).

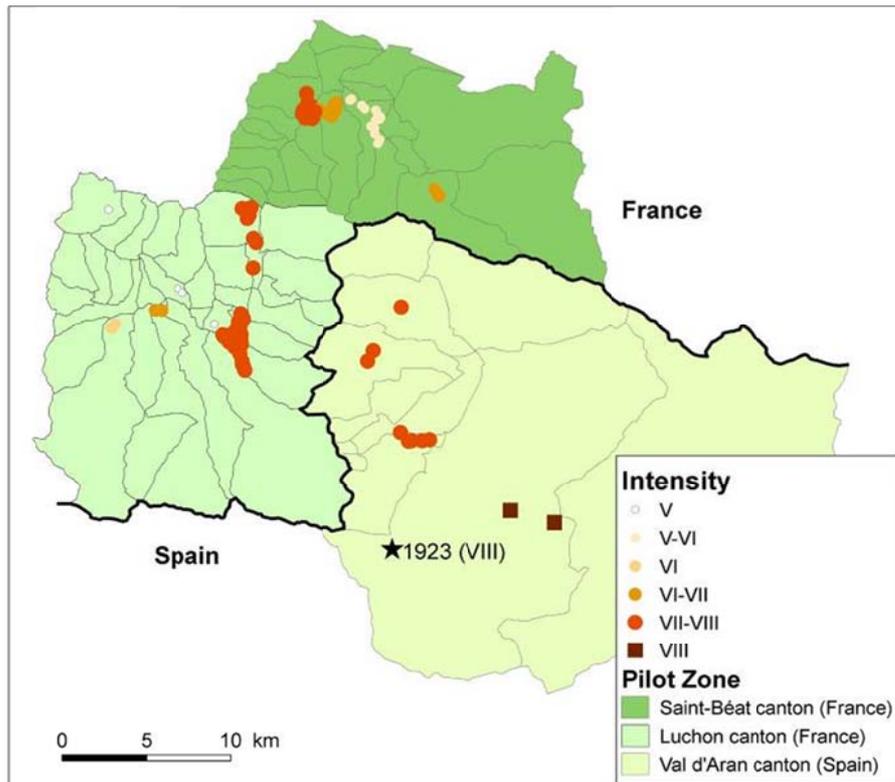


Figura 5 - Distribución de intensidades observadas e interpretadas y epicentro del terremoto de 1923 (interpretadas a partir de Susagna et al. (1994)).

## 2.2. Datos y Cartografía

Una fase previa al estudio de la vulnerabilidad sísmica de los edificios de vivienda es establecer qué base de referencia se utiliza para la cartografía de las zonas pobladas y para la cuantificación del número de edificios y por consiguiente de viviendas y de personas. En total la comarca de Val d'Aran cuenta con un total de 2859 edificios según el censo del 2001 (INE, 2010), estimándose alrededor de 8338 en las comarcas de Luchon y Saint Béat; el censo de 2006 cifra en 12655 el total de viviendas en esta zona, según los datos publicados por el *Institut National de la Statistique et des Études Économiques* (INSEE, 2010).

En el lado francés de utilizaron los datos del censo de viviendas y de personas facilitados por el INSEE de 2006 como referencia. El problema del uso de los datos estadísticos del INSEE en Francia es que se limitan a un dato sobre la población y las viviendas por

municipio y en el presente trabajo se quiso ganar en resolución espacial, ya que dentro de un municipio no todas las zonas han sido construidas igual, existen zonas de ensanche, etc. Para tal efecto se cartografiaron zonas habitadas homogéneas dentro de un mismo municipio. Los datos INSEE se utilizaron como referencia de validación, es decir, la suma total de viviendas para cada una de estas zonas homogéneas debe aproximarse al número de viviendas totales del municipio declarado en el censo.

La información necesaria sobre el parque de edificios de Val d'Aran se ha obtenido del *Institut d'Estadística de Catalunya* (IDESCAT), concretamente del último censo de edificios disponible realizado en 2001. En el citado censo se facilitan para cada municipio el número de edificios en función de los parámetros altura y año de construcción; y para cada entidad local (núcleo y diseminado por separado) se da el número de edificios total presente en cada una de ellas.

Para definir la unidad de estudio del presente trabajo, se ha tomado como base la división administrativa municipal. Concretamente, se han considerado como unidad cada uno de los núcleos o diseminados. Para ello, empleando las herramientas del SIG se han digitalizado los polígonos correspondientes a cada unidad de estudio en base a la información de referencia (ortofotos y bases topográficas) de la Dirección General del Catastro y del *Institut Cartogràfic de Catalunya*, ICC (Figura 6). El proceso de digitalización, realizado define 50 unidades o polígonos de estudio (Rodríguez, 2004).



**Figura 6 - Ejemplo de digitalización de las unidades de estudio en base a ortofotos del ICC: núcleo de Casau (izquierda) y Vilac (derecha).**

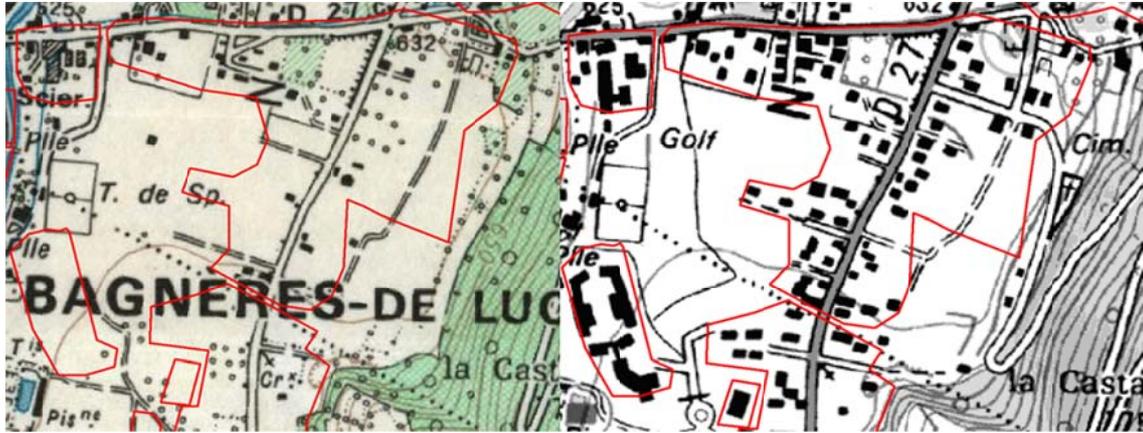
El conjunto de zonas pobladas de la parte francesa de la zona de estudio ha sido cartografiado a partir de imágenes aéreas y de mapas topográficos. Se distinguieron cuatro tipos de zonas:

- Zonas de casco histórico
- Zonas de centro urbano
- Zonas residenciales (plurifamiliares) o urbanizaciones (unifamiliares)
- Zonas de urbanización dispersa

En total se cartografiaron 203 polígonos de zonas habitadas. Para cada una de estas zonas se estimó mediante un conteo semiautomático el número de edificios por zona. También se les atribuyó una edad media de construcción, gracias al uso de mapas topográficos antiguos (Figura 7). Luego estos datos fueron contrastados durante las



visitas de campo y finalmente para cada zona se atribuye un número de edificios y un número de viviendas.



**Figura 7 - Ejemplo de construcción de zonas: mapa topográfico de 1971 (izquierda) y mapa topográfico más reciente (derecha). La construcción de la mayoría de los edificios es posterior a 1971.**

Mediante visitas en profundidad de algunos edificios singulares y esenciales de Val d'Aran y mediante una serie de formularios se recogieron datos detallados de los mismos, para identificar su tipología estructural y vulnerabilidad con mayor detalle. Dicha información permitió aplicar edificio a edificio el mismo principio del método RISK-UE del índice de vulnerabilidad a un total de 34 edificios, concretamente destinados a salud (3), parques de bomberos (4), seguridad ciudadana (3), administración comarcal y local (6), educación (10), instalaciones deportivas (6) y abastecimiento (2). Esta información es empleada para el riesgo sísmico de estos edificios mediante una metodología denominada de nivel 2 simplificada que emplea el método basado en el espectro de capacidad. Dicha metodología y los resultados obtenidos se muestran en Irizarry et al. (2013).

### **2.3. *Análisis de la vulnerabilidad***

Se han caracterizado los edificios residenciales de la zona de estudio según los criterios del método del índice de vulnerabilidad desarrollado por el proyecto europeo RISK-UE (Mouroux and Lebrun, 2006), conocido en el proyecto SISPyr como de nivel 1 (Lungu et al., 2001; Milutinovic y Trendafiloski, 2003). La identificación de los tipos de construcciones más habituales en la zona se hizo mediante una campaña de campo que visitó varias localidades así como gracias a las entrevistas que se mantuvieron con arquitectos y constructores de la zona. Establecer una tipología de edificaciones local fue el primer paso para luego relacionarla con la tipología de edificios propuesta en RISK-UE (Lungu et al., 2001) tal y como ya se realizó en el anterior proyecto ISARD en la comarca de la Cerdanya y Andorra (Irizarry et al., 2007; Rousillon et al., 2006; González, 2010).

Cada uno de los tipos constructivos identificados en la zona se ha asociado a un tipo constructivo de RISK-UE (ver Tabla 1). De esta manera cada tipo de construcción tendrá un índice de vulnerabilidad medio. Además se tomaron en cuenta una serie de factores modificadores que se sumaron al índice de vulnerabilidad de base (Milutinovic y Trendafiloski, 2003). Estos factores se aplicaron, bien de manera sistemática sobre toda una tipología de edificios, o bien sólo en determinados casos cuando los datos estadísticos y de campo así lo permitían. Estos factores fueron el número de plantas, que se corrige de forma distinta si se trata de edificios de mampostería o de hormigón; el estado de conservación; y para los edificios de mampostería de piedra (T1 y T1') dos factores que penalizan el sistema estructural y la cubierta de madera con conexiones débiles a los muros. Finalmente para los núcleos con un gran porcentaje de edificios adjuntos se tuvo en cuenta un factor que penaliza el hecho que entre edificios vecinos pueda haber entrechoques bajo un movimiento sísmico (efecto de golpeteo), debido a diferencias de alturas, forjados a niveles diferentes, etc.

**Tabla 1. Tipología de construcciones de la zona de estudio**

Tipo	Sistema estructural	Tipo RISK-UE	Descripción	VI
T1	Mampostería de piedra	M1.2	Muros de carga en piedra, forjado de madera. Casa tradicional.	0.74
T1'		M1.2-M1.3	Grandes edificios de Bagnères de Luchon. Muros de carga en piedra, elementos en piedra de sillería.	0.74 - 0.616
T2	Mampostería no reforzada de ladrillos o bloques de hormigón	M3.3	Viguetas y bovedilla. Mampostería sin reforzar.	0.704
T3		M3.4	Mampostería sin reforzar. Forjado en hormigón.	0.616
T4	Hormigón armado	RC3.2	Pórticos en hormigón con mampostería de relleno. Estructura irregular.	0.522
T5		RC2	Muros de corte	0.386
T6	Estructura metálica	S3	Estructura en acero con mampostería de relleno	0.484
T7	Madera	W	Chalets de madera	0.447

La Figura 8 presenta las tipologías de edificios empleadas (ver también Anexo) y la Tabla 1 su índice de vulnerabilidad con el modificador regional incluido, debido a que existen algunas diferencias entre las tipologías existentes y las definidas por el proyecto Risk-UE.

Desde un punto de vista del riesgo sísmico, la visita de campo y las entrevistas con los arquitectos o constructores de la zona permitieron identificar los principales factores de vulnerabilidad de los edificios de vivienda en la zona piloto.

Para la casa tradicional:

- Conexión débil entre la estructura de cubierta de madera y los muros de carga, esta conexión está hecha con estacas de madera
- Los muros de carga de piedra están ligados mediante el uso de piedras alternadas. Esta conexión entre muros parece débil para cargas sísmicas horizontales.



- Fuerte variabilidad de la forma y la calidad de las piedras usadas en los muros. Por ejemplo se observa el uso de bolos redondeados en los núcleos situados en el fondo de valles, en otros casos piedras de tipo losa
- Vulnerabilidad asociada a elementos no estructurales: chimeneas, cornisas, ventanas, tragaluces, balcones.
- En el centro de los pueblos, factores de vulnerabilidad asociados a: diferencia de alturas entre construcciones, forjados a distintas alturas, inexistencia de juntas de separación.
- Niveles transparentes o semitransparentes en las calles con comercios. La fachada principal dispone de más aperturas que los otros muros.
- Superposición posterior de niveles sobre muros de carga en mampostería de piedra.



**Figura 8 - Ejemplos representativos de las principales tipologías de edificios residenciales**

Para la casa individual moderna:

- Presencia de irregularidades en planta y en altura
- Mampostería sin reforzar en esquinas y en aperturas
- Vulnerabilidad de elementos no estructurales: chimeneas, tragaluces, cornisas
- Una gran mayoría de casas con forjados vigueta y bovedilla

Para la vivienda plurifamiliar, en todos los casos se observaron los factores de vulnerabilidad asociados a la irregularidad en forma de los edificios.

Más específicos de los edificios con pórticos de hormigón armado, los factores de vulnerabilidad son los típicos de estas estructuras: la posibilidad de presentar pilares cortos o columnas bloqueadas, transparencias de plantas bajas, o el hecho que los muros de relleno son de mampostería sin reforzar.

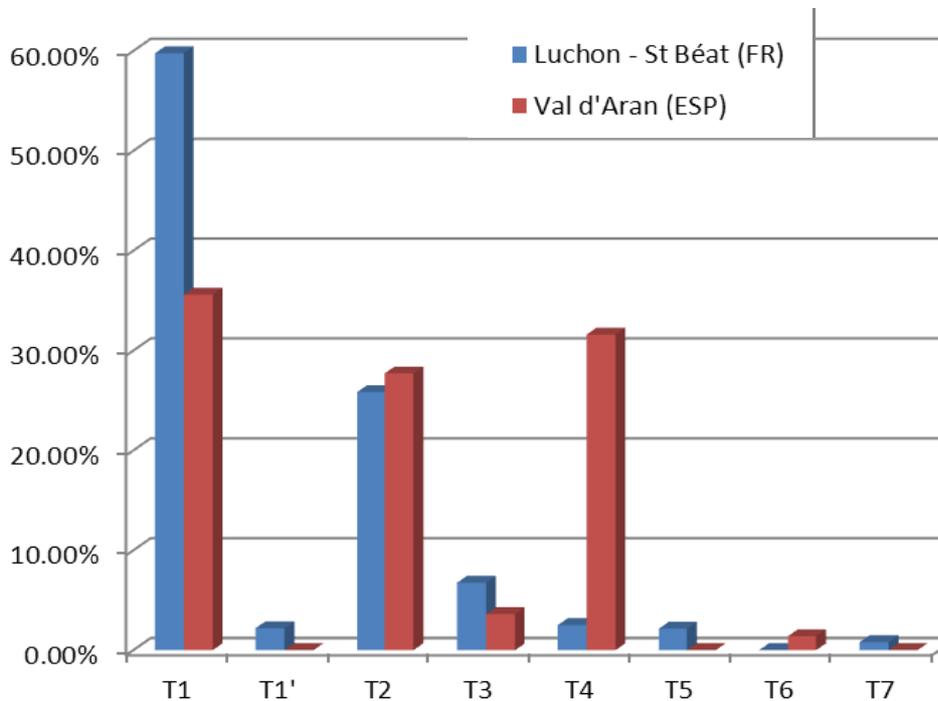
Las tipologías más vulnerables en la zona son la de muros de carga de piedra (T1 y T1') (Figura 8). Estas tipologías de mampostería de piedra y ladrillo, presentan una conexión entre los muros perpendiculares que no es suficientemente fuerte. Adicionalmente, la conexión entre los forjados con vigas de madera y la cubierta con los muros portantes es también pobre.

Casos especiales como las casas tradicionales en las que se han realizado trabajos recientes de incremento de altura, demoliciones parciales y refuerzos. No obstante, estos trabajos no pueden ser considerados como refuerzos desde un punto de vista de comportamiento sísmico; por tanto, se ha mantenido la hipótesis de que los edificios no han sufrido cambios en su vulnerabilidad y no se ha reducido ni incrementado su índice de vulnerabilidad.

Las estructura con pórticos de hormigón y muros de relleno se han considerado por defecto como irregulares debido a varios factores identificados con frecuencia: pisos blandos, formas irregulares, balcones, voladizos y pilares cortos. En zonas como éstas, de sismicidad moderada se ha de tener en cuenta otro aspecto importante de la vulnerabilidad, como son los elementos no estructurales de los edificios.

Una vez distinguida la tipología de edificaciones en la zona (Tabla 1) se analizó su distribución a lo largo del territorio (relativa, en porcentaje, y absoluta en número), en función del tipo de zonas construidas (cf. 2.2) tal y como describe Rousillon et al. (2006) y Sedan et al. (2008). También se estimó la repartición de algunas características como el número de plantas y en las zonas de centro urbano el porcentaje de edificios agregados sin separaciones con los factores de vulnerabilidades asociados a estas situaciones.

En el interior de cada zona habitada se estimó un número total de edificaciones y una distribución en porcentajes de los distintos tipos constructivos (Figura 9). Esta distribución se hace usando distintos criterios: 1) visita del núcleo en cuestión y estableciendo una distribución sobre el terreno; 2) en función de los datos estadísticos de edad de las construcciones; 3) según el criterio de arquitectos y constructores de la zona y 4) por similitud con otras zonas habitadas similares visitadas, según la edad media de construcción y según el tipo de zona. Así por ejemplo en los núcleos urbanos que no se visitaron, que correspondían sobretodo a los municipios de talla más pequeña, se les atribuyó una distribución de tipos establecida en los núcleos que si se habían visitado.



**Figura 9 - Distribuci3n de los edificios de viviendas por tipos.**

Los resultados del análisis con Sistemas de Informaci3n Geográfica (SIG o GIS en inglés) de la ocupaci3n del suelo, los datos del censo de poblaci3n y edificios y visitas de campo, evidencian el hecho de que las dos zonas han seguido crecimientos urbanísticos distintos.

La zona de Saint –B at y Luchon se caracteriza por un gran número de edificios de tipo T1 (Figura 10), ya que el crecimiento urbano de estos municipios durante los últimos 40 años es muy reducido. Bagnères de Luchon, el municipio más importante de la zona, se desarroll3 sobre todo a principios del siglo XX y finales del XIX gracias al turismo termal. Las nuevas construcciones en la zona son principalmente barrios residenciales y urbanizaciones (T2 y T3) (Figura 12 a Figura 17), construyéndose pocos bloques de pisos (T4 y T5) (Figura 18 y Figura 19). En cambio los resultados en la Val d’ Aran, con un desarrollo urbanístico muy fuerte a partir de los años 1970 hasta la primera década de los 2000, tras la apertura de las pistas de esquí de Baqueira-Beret, muestran una repartici3n más homogénea entre la casa tradicional (T1) (Figura 11), los edificios en mampostería (T2) y los bloques de pisos de hormig3n (T4) (Figura 21); ver Rodríguez (2004) y fichas de tipologías constructivas en Anexo.



**Figura 10 - edificio en el centro de Luchon (muro portante de mampostería de piedra) con dos plantas añadidas.**



**Figura 11 - reforma completa de casa típica en el centro del núcleo de Salardú (Val d'Aran). Mezcla de diferentes materiales: mampostería de ladrillo y piedras (revestimiento exterior, ornamental), planchas de hormigón y pilares metálicos.**



**Figura 12 - antiguo edificio de viviendas de mampostería en Saint-Béat. Ha añadido los lavabos posteriormente (a la izquierda).**



**Figura 13 - interior de un edificio en restauración en Luchon. Los trabajos conservan las vigas de madera.**



**Figura 14 - edificio en el centro histórico de Luchon. La planta baja es un local comercial.**



**Figura 15 - casa unifamiliar con sistema portante de pórticos de hormigón y muros de relleno de mampostería (Cierp-Gaud).**



**Figura 16 - casa aislada en construcción, de muros portantes de mampostería. Presenta aberturas en todas las fachadas y forma irregular en planta.**



**Figura 17 - casa unifamiliar en construcción en Luchon.**



**Figura 18 - edificio en hormigón prefabricado, tipología constructiva muy poco frecuente en la zona.**



**Figura 19 - edificio de viviendas en Luchon (años 80) sistema de pórticos.**



**Figura 20 - construcción unifamiliar reciente (posterior a 2005).**



**Figura 21 - edificio de viviendas de construcción reciente.**

### 3. Resultados

#### 3.1. Daño físico directo

Globalmente, para la zona de estudio, los daños simulados para un sismo como el de 1923 con los edificios actuales son leves a moderados (estados de daños D0 y D1 en su mayoría) (Figura 22a y Figura 23a). Los porcentajes de edificios fuertemente dañados (estados D4 y D5), en las zonas con las intensidades más fuertes, serían inferiores a 2%. Esto significaría que tan solo algunas casas de las más vulnerables sufrirían daños muy severos o colapso. Los sectores más afectados serían sobre todo los núcleos de Gaussac, Vielha y Casarilh en la Val d’Aran y algunos sectores del centro histórico de Bagnères de Luchon. Todas estas zonas ya se habían identificado por tener una importante tasa de construcciones que datan de antes de 1950, casas tradicionales de muros de mampostería de piedra, siendo estos edificios los más vulnerables.

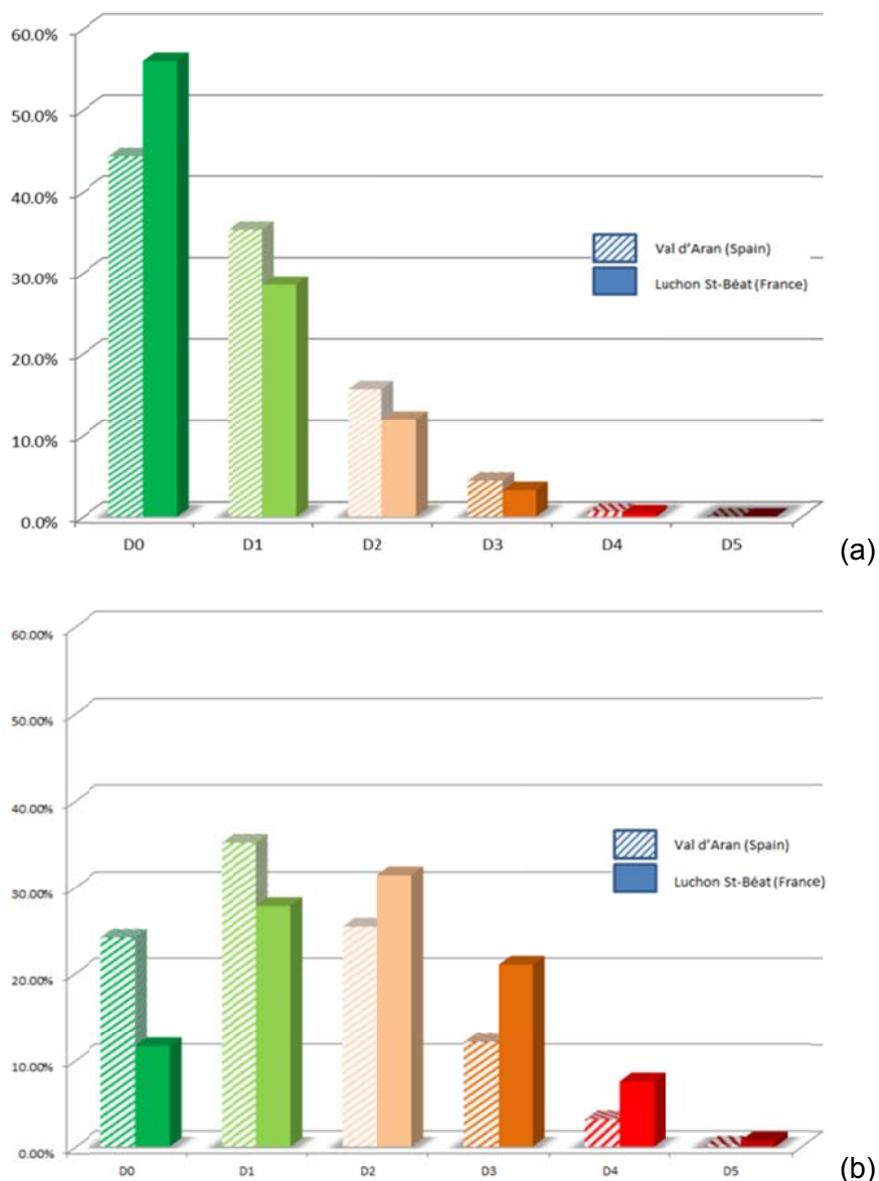
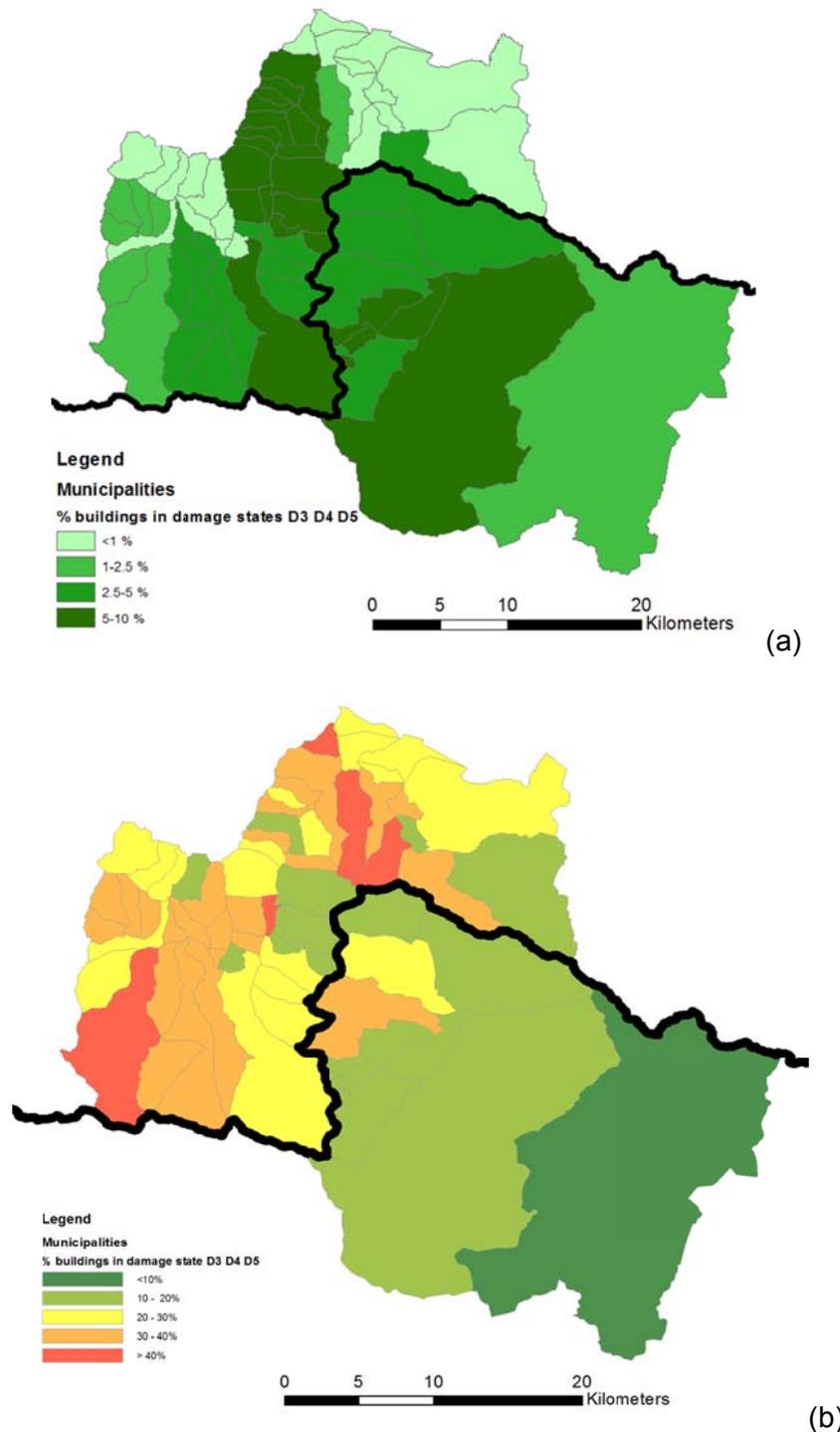


Figura 22 - Distribución de los daños en los edificios de vivienda en Val d’Aran y en Luchon – Saint Béat para: (a) escenario determinista y (b) probabilista.



**Figura 23 - Distribución de los daños de grado D3 y superior (severos, colapso parcial y total) en la zona estudiada: (a) escenario determinista y (b) escenario probabilista**

Los daños severos (estado D3) serían más importantes en los núcleos de Vielha, Gaussac y Casarilh (entre 10 y 15% del parque en estado D3) (Figura 23a). Otras localidades de Val d'Aran y también del lado francés tendrían entre un 5 y un 10% de los

edificios en este estado. Las localidades con intensidades inferiores a VII presentarían porcentajes de edificios dañados severamente por debajo del 2%. El número de inmuebles en estado de daño severo (D3) es una cifra significativa de cara a la estimación del número de personas que se quedarían momentáneamente sin hogar. Por ejemplo, sólo en Bagnères de Luchon o en Vielha serían varias decenas de personas que se encontrarían en esta situación en un día normal, es decir, sin contar la población turística. Los daños moderados (D2) aparecen no solo en los cascos históricos sino también en barrios residenciales de reciente construcción, con estructuras irregulares de hormigón armado con muros de relleno de mampostería.

La distribución del daño para el escenario sísmico probabilista se muestra en la Figura 22b y Figura 23b. Los daños mayores para este escenario se concentran en las áreas con mayores efectos locales de suelo (en los valles). De forma general, los daños medios en la comarca de la Val d'Aran son menores que en el lado francés. Estos resultados y diferencias entre los dos países pueden ser debidos a dos factores: 1) El lado francés tiene edificios más vulnerables (tipo T1 es el principal) que en el lado español y 2) los núcleos más importantes con la mayor concentración de edificios en el lado francés están situados en zonas con mayores efectos de suelo. Por otro lado, en la Val d'Aran hay un alto número de edificios sobre roca cerca de la estación de esquí, por tanto sin amplificación y como consecuencia con una intensidad menor

En los edificios de especial importancia de Val d'Aran los daños obtenidos mediante el método de nivel 1 serían también leves, como en los edificios de vivienda. Entre todos estos edificios el grado daño medio tendría un  $\mu_D=0.8$ , lo que indica que en su mayoría los daños de dichos edificios variarían entre los estados D0 y D1.

### **3.2. Daños a la población**

Existen diferentes métodos de evaluación de los daños a la población producidos por un terremoto, en este trabajo se ha empleado la metodología propuesta por Chávez (1998) para la evaluación del número de viviendas inhabitables y de personas sin hogar (homeless) de la comarca de Val d' Aran. 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.

A continuación se comenta brevemente el método empleado, y los resultados totales para el escenario determinista pueden consultarse en la Tabla 2, del siguiente apartado de síntesis y comparación de resultados.

Para estimar el Número de Personas Sin Hogar (NPSH), afectadas por el fenómeno sísmico, se emplea la ecuación (7) que tiene en cuenta las diferentes probabilidades de daño para obtener el Número de Edificios Inhabitables (NEI), descrito en la ecuación (8).

$$NPSH = NEI \cdot (\text{habitantes/vivienda}) \quad (7)$$

$$NEI = NE \cdot (0.5 \cdot D3 + D4 + D5) \quad (8)$$

Donde NE es el número de edificios del tipo correspondiente a cada una de las probabilidades de los estados de daño 3 (D3, Severo), 4 (D4, Daño muy Severo) y daño 5 (D5, Destrucción).

Para terremotos de intensidades entre VII y VIII, como los que han sido simulados en el presente trabajo, podrían producirse varias víctimas mortales en la zona estudiada. Hay



que recordar el hecho que las víctimas no solo se producen por el derrumbe de edificios, sino que la caída de elementos no estructurales (cornisas, balcones, chimeneas) puede provocar víctimas mortales, tal como fue el caso en Lorca durante el terremoto de mayo 2011 (9 víctimas mortales en una ciudad de 60000 habitantes).

### 3.3. Síntesis y comparación de resultados

En la siguiente tabla pueden apreciarse los resultados finales obtenidos para la parte francesa y española mediante la metodología del índice de vulnerabilidad para el escenario determinista, en cuanto a edificios colapsados (D5) y dañados de forma muy severa (D4), así como aquellos que quedarían inhabitables y las personas que quedarían sin hogar.

Tabla 2. Síntesis de resultados para el escenario determinista (sismo de Vielha, 1923).

Escenario	Efectos del suelo	Peligrosidad Local	Metodología	Edificios colapsados		Edificios Inhabitables	Personas Sin hogar
				Total D5	Parcial D4		
Cantons Luchon & Saint-Béat Pobl. Max	Intensidad observada/ estimada	V a VII-VIII	Nivel 1 Ind. Vuln.	1	34	300	1180
Cantons Luichon & Saint-Béat Pobl. INSEE	Intensidad observada/ estimada						380
Val d'Aran Determinista Sismo 1923 Pobl. 2001	Observada/ Estimada	VII a VIII		0	16	79	320

Además de la metodología del Índice de vulnerabilidad o metodología de Nivel 1 (N1), se ha aplicado otra metodología denominada como de Nivel 0 (N0). 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 moderada; y en que tienen una forma sencilla de determinar el grado de daño medio esperado y las matrices de probabilidad de daño. Y difieren en la forma de caracterizar la resistencia sísmica de los edificios, uno lo hace mediante índices de vulnerabilidad, mientras que el otro clasifica

los edificios en clases de vulnerabilidad.

En este trabajo se usan ambos métodos pues los dos permiten un tratamiento estadístico de la información disponible. De este modo, se muestran los resultados de ambas metodologías, con lo que se consigue obtener un primer conocimiento de la vulnerabilidad de los edificios de vivienda del municipio y poder estimar, estadísticamente, el comportamiento de estos edificios cuando sufren un movimiento sísmico.

A continuación se comenta brevemente dicha metodología denominada de nivel cero, empleada para la estimación del daño físico directo, y se muestran los resultados obtenidos juntamente con la metodología N1.

### **3.3.1. Metodología Nivel Cero (N0)**

En la comarca de la Val d'Aran el método de nivel cero, basado en Clases de Vulnerabilidad (SISMICAT, 2003; Roca et al., 2006) define el edificio, o conjunto de edificios, mediante clases de vulnerabilidad y se caracteriza por:

- Sencilla y directa asignación de un edificio o conjunto de edificios a una clase de vulnerabilidad.
- No requiere información detallada del edificio a evaluar, pero la resolución de los escenarios es baja, dado que los resultados se restringen a las 5 clases de vulnerabilidad previstas en la escala EMS'98.

Para realizar la evaluación del daño físico que experimentarían los edificios de Val d'Aran mediante esta metodología se ha utilizado un escenario sísmico probabilista con periodo de retorno de 475 años descrito en el plan SISMICAT (*Pla Especial d'Emergències Sísmiques de Catalunya*) (Secanell, 1999; Secanell et al., 2004) que define una intensidad VIII para toda la comarca de Val D'Aran.

La base de datos de edificios utilizada para la aplicación de la metodología de clases de vulnerabilidad es la proporcionada por el IDESCAT y correspondiente al censo de 2001, por lo que se toma el censo de población correspondiente al mismo año. Estos datos se corresponden con el nivel de precisión de cada metodología; en el caso de la metodología N0 se trabajó con un solo dato de población para toda la comarca de la Val d'Aran, y en N1 se trabajó con los datos de población distribuida a nivel de núcleos urbanos.

En Francia no existe una herramienta operativa como SISMICAT en Cataluña. No obstante, dentro del marco del proyecto SisPyr se han desarrollado escenarios de riesgo sísmico de nivel 0, es decir, escenarios que establecen una distribución de tipos de vivienda y vulnerabilidades a partir simplemente de los datos del censo de edificios y viviendas (datos INSEE del año 2006 en Francia). Estos escenarios, realizados en varios departamentos del macizo pirenaico francés, se presentan en detalle en el informe de Monfort y Colas (2013). Estos escenarios de nivel 0 en francés se basaron en el trabajo y la metodología propuesta por Sedan et al. (2008) en el departamento francés de Bouches de Rhône (zona de Aix en Provence).

Los resultados obtenidos por ambas metodologías y los diferentes escenarios, en los núcleos más poblados, como son Vielha y Bagnères de Luchon, se muestran en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente. En esta última tabla se muestran los resultados para el escenario de nivel 0, denominado INSEE 2006, que es equivalente al SISMICAT de



Vielha y para el escenario determinista y probabilista con la metodología de nivel 1 N1.

Tabla 3 Síntesis de resultados del municipio de Vielha-Mijaran.

Escenario	Efectos del suelo	Peligrosidad Local	Metodología	Edificios colapsados		Edificios Inhabitables	Personas Sin hogar
				Total D5	Parcial D4		
SISMICAT Datos 1991 y 1996*	SISMICAT	0% (VII) 0% (VII-VIII) 100% (VIII) 0% (VIII-IX)	Nivel 0 MPD	10	56	148	520*
Determinista Sismo 1923 Datos 2001	Observado / Estimado	73% (VII) 5% (VII-VIII) 22% (VIII) 0% (VIII-IX)	Nivel 1 Ind. Vuln.	0	11	46	252
Probabilista ISARD Datos 2001	Microzonación SISPYR	0% (VII) 58% (VII-VIII) 18% (VIII) 24% (VIII-IX)	Nivel 1 Ind. Vuln.	2	24	68	399

Tabla 4. Síntesis de resultados para Bagnères de Luchon.

Escenario	Efectos del suelo	Peligrosidad Local	Metodología	Edificios Colapsados		Edificios Inhabitables	Personas Sin hogar
				Total D5	Parcial D4		
Escenario Nivel 0 INSEE 2006	+0.5 en intensidad	100% VIII	Nivel 0	10	123	484	590
Sismo 1923, escenario determinista INSEE 2006	Intensidades observadas/ estimadas	100% VII	Nivel 1 Ind. Vuln.	0	14	117	160
Probabilista ISARD INSEE 2006	Microzonación SISPYR	0.2% (VII-VIII) 96.3% (VIII) 3.5% (VIII-IX)	Nivel 1 Ind. Vuln.	9	124	515	635

## 4. Conclusiones

Se han distinguido ocho grandes tipos constructivos en la zona de estudio. Las construcciones más vulnerables de la zona serían las de las casas tradicionales correspondientes a las tipologías T1 y T1', edificios con muros de carga con mampostería de piedra, con forjados de madera y en general poco aptos para solicitaciones horizontales. Estas construcciones tienen un sistema estructural similar al tener en ambos países de la zona piloto técnicas constructivas comunes, por tanto, también su vulnerabilidad es muy similar.

Las diferencias más importantes entre ambos lados de la frontera son las tipologías de edificios residenciales más recientes. Estas diferencias provienen de las diferencias entre sus respectivos códigos sísmicos, siendo los valores de aceleración en la zona francesa de 0.16g (nueva zonación sísmica en Francia, aplicable desde 2010) y de 0.04g (NCSE-02) en la parte española. Consecuentemente, las tipologías estructurales y las soluciones constructivas son diferentes. En el lado francés los edificios residenciales más recientes han sido construidos con muros de hormigón a cortante, mientras que en la parte española son estructuras de pórticos de hormigón armado con muros de relleno.

En cuanto a los edificios de vivienda colectivos, se debe poner especial atención en los construidos a partir de 1970, especialmente en la Val d'Aran, construidos con el boom urbanístico surgido del turismo invernal. Muchos de ellos están construidos con pórticos de hormigón armado y muros de relleno de mampostería que muestran, en general, un gran número de irregularidades (pisos blandos, distribuciones irregulares, pilares cortos, etc). Para este tipo de edificios los elementos no estructurales pueden ser peligrosos incluso con terremotos de intensidad moderada como se vio en el terremoto de Lorca de 2011.

Se han simulado los daños provocados por un terremoto con las intensidades interpretadas del seísmo de Vielha de 1923 (intensidad VIII en Vielha y VII en Bagnères de Luchon) en el parque de los edificios actuales de la Val d'Aran (España) y las comarcas de Luchon y Saint-Béat en Francia.

Los daños serían mayoritariamente nulos o leves (estados D0 y D1), es decir, habría un impacto en los edificios sin afectar la estabilidad estructural de los inmuebles. Alrededor de un 4% del total del parque de edificios sufrirían daños de grado 3 (severo) (important cracking). Por ejemplo, unos 250 edificios de Luchon-Saint Béat y unos 125 de Val de Aran. Daños no estructurales en muros de relleno serían importantes en toda la zona, incluso en nuevos barrios residenciales.

Los daños muy severos y de destrucción serían muy escasos (menores del 2%) y localizados en edificios muy vulnerables, tal y como ocurrió en 1923 al derrumbarse algunos corrales en Vielha. Por consiguiente la cifra de pérdidas humanas sería también reducida, estando las víctimas más asociadas a daños no estructurales. En cambio el número de edificios severamente dañados (estado D3) podría ser considerable en algunos núcleos de Vielha y cercanías así como en Bagnères de Luchon. El número de personas que se quedarían temporalmente sin alojamiento sería por consiguiente importante, del orden de 700 personas en ocupación normal, que podría multiplicarse por 3 en temporada turística alta.

El escenario probabilista muestra diferencias entre ambos países, siendo los daños menores en la Val d'Aran. Cuando se comparan sectores con una intensidad similar, los daños tienen a ser mayores en áreas urbanas con mayor porcentaje de edificios vulnerables (tipo T1 y T1') que se corresponden con la construcción tradicional de la



zona. Los nuevos barrios residenciales construidos a partir de 1970 tienen, en general, un daño medio menor. En Vielha resultarían 46 edificios inhabitables y 252 personas sin hogar, siendo en Luchon 117 y 160 respectivamente.

En una zona de sismicidad moderada como la que se ha tratado en este trabajo, considerar los resultados solamente en términos de daños fuertes, colapsos y víctimas puede conducir a subestimar el riesgo. Efectivamente en un escenario como el tratado en este artículo el impacto en términos de víctimas sería reducido al constatarse un porcentaje muy bajo de edificios colapsados. En cambio el número de personas que se quedarían momentáneamente sin hogar y las posibles pérdidas indirectas y económicas de tal evento podrían ser muy importantes.

## 5. Referencias bibliográficas

- Chávez, J. (1998) Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico a escala regional: Aplicación a Cataluña. Tesis Doctoral. Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartografía y Geofísica, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Giovinazzi, S. y Lagomarsino, S. (2002) WP04: Guidelines for the implementation of the I level methodology for the vulnerability assessment of current buildings. Genoa, Italy.
- González, M. (2010) Evaluación del riesgo sísmico en el Principado de Andorra. Tesis doctoral del Departamento d' Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica de la Universitat Politècnica de Catalunya. Disponible en: [-www.tdx.cat/TDX-0618110-122408](http://www.tdx.cat/TDX-0618110-122408).
- Goula, X. y the ISARD team. (2007) Proyecto ISARD: Información Sísmica Automática Regional de Daños. 3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. 1513-1526.
- Grünthal, G. (1998) European Macroseismic Scale 1998. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxemburg.
- Journal de la République Française (2010). Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ». Disponible en <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022941755&dateTexte=&categorieLien=id>
- INE (2010). Instituto de Estadística de España. Disponible en: [www.ine.es](http://www.ine.es). Última visita en noviembre de 2010.
- INSEE (2010) French Stat Data Institute. Disponible en [www.insee.fr](http://www.insee.fr).
- ISARD (2006) Información Sísmica Automática Regional de Daños, Interreg IIIA France Spain 2000–2006 programme. Disponible en: [http://isard.brgm.fr/encyclopedique.php3?lang=fr&id\\_article=33](http://isard.brgm.fr/encyclopedique.php3?lang=fr&id_article=33)
- Irizarry, J., Valcárcel, J., Goula, X. y A. Bosch (2013) Riesgo sísmico de los edificios especiales de Val d'Aran y de los centros educativos de la provincia de Girona. Informe SISPYR.
- Irizarry, J., Roussillon P., González, M., Colas, B., Sedan, O. y Susagna, T. (2007) Escenarios Transfronterizos de Riesgo Sísmico en el Pirineo Oriental. 3r Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Girona, Spain.
- Lantada, N., Irizarry, J., Barbat, H.A., Goula, X., Roca, A., Susagna, T. y Pujades L.G., (2010) Seismic hazard and risk scenarios for Barcelona, Spain, using the Risk-UE vulnerability index method. Bulletin of earthquake engineering, 8 (2) p. 201-229.
- La Vanguardia (1923) Edición del 21 y 22 de noviembre de 1923. Disponible en la hemeroteca digital: [www.lavanguardia.es](http://www.lavanguardia.es) [última consulta: agosto 2010]
- Le Midi Socialiste (1923) Edición del 21 de noviembre de 1923.
- Lungu, D., Aldea, A., Arion, A., Vacareanu, R., Petrescu, F. y Cornea, T. (2001) WP1 Report European distinctive features, inventory database and typology. Risk-UE Project. 58 pp.
- Macau, A. (2008) Microzonación sísmica. Contribución a los estudios de peligrosidad sísmica a escala local en zonas rurales y urbanas. PhD Thesis. Universidad Politècnica de Catalunya. Barcelona, 328pp.
- Macau, A., Figueras S., Roullé A., Kingne L., Bellmunt F. y Meneses C. (2012) Seismic microzonation in two Pyrenean Valleys: Val d'Aran and Luchonnais. 15 WCEE Lisbon.
- Macau, A., Figueras, S., Martí, A., Benjumea, B. y Gabàs, A. (2012) Microzonació sísmica de nivell avançat a la Val d'Aran. Informe R12 SISPyR
- Milutinovic, Z. V. y Trendafiloski, G. S. (2003), WP04. Vulnerability of current buildings . RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications



- to different European towns. Contract No.EVK4-CT-2000-00014. Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS), Skopje. 109 pp.
- Monfort, D. y Colas, B. (2013) Risk scenarios of level 0 in French departments: Haute-Garonne, Ariège, Aude and Pyrénées-Orientales. Module 4.2 Risk scenarios.
  - Mouroux, P. y Lebrun, B. (2006). RISK-UE project: an advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different european towns in: C. S. Oliveira, A. Roca and X. Goula, (Editors), Assessing and Managing Earthquake Risk, Springer, 479 - 508.
  - Mouroux, P., Bertrand, M., Bour, M., Le Brun, B., Depinois, S., Masure, P., y otros. (2004). The European Risk-Ue Project: an advanced approach of earthquake risk scenarios. Proceedings of the 13th World Conference Earthquake Engineering. Vancouver B.C (Canadá). CD-ROM. Paper No. 2162, 12 pp.
  - NCSE (2002) Normativa de Construcción Sismorresistente Española. Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes, Real Decreto 997/2002. Boletín Oficial del Estado No. 244 del 11 de octubre de 2002, España.
  - 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, 407 pp.
  - Risk-UE (2003) An advanced approach to earthquake RISK scenarios with applications to different European towns. European Commission 5FP - City of Tomorrow and Cultural Heritage. CEC Contract Number: EVK4-CT-2000-00014. Duration: 44 Months (15/01/2001-30/09/2004). Disponible en: [www.risk-ue.net](http://www.risk-ue.net).
  - 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 (Vol. 4). Spain.
  - Rodríguez, J. (2010) Creación de una base de datos SIG de la Val d'Aran, orientada a la evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas. Trabajo final de carrera. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya
  - Roullé, A., Macau A., Figueras S., Monfort D., Lantada N., Susagna T. y Irizarry J. (2012) Performing seismic scenario in the Luchon - Val d'Aran area, Central Pyrenees. Eurogeo 2012, Bolonia.
  - Roullé A, Colas B. (2013). Microzonage sismique de la vallée de Luchon (France) Action 4.2.
  - Rousillon, P., Irizarry, J., González, M., Delmotte, P., Sedan, O., y T. Susagna (2006) Cross-border seismic risk scenarios (Eastern Pyrenees), First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Geneva, Switzerland, 3-8 September, Paper ID 902.
  - Secanell, R. (1999). Avaluació de la perillositat sísmica a Catalunya: anàlisi de sensibilitat per a diferents models d'ocurrència i paràmetres sísmics . Universidad de Barcelona.
  - Secanell, R., Goula, X., Susagna, T., Fleta, J., y Roca, A. (2004) Seismic hazard zonation of Catalonia, Spain integrating uncertainties.
  - 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, 323-341).
  - Sedan, O., Terrier, M., Nesculescu, C., Winter, T., Roullé, A., Douglas, J., Rohmer, J., Bes-de-Berc, S., de Martin, F., Arnal, C., Dewez, T., Fontaine, M. (2008) Scénario départemental de risque sismique- Méthodologie et processus de réalisation. Rapport

BRGM/RP-55415-FR, 459p, 96 fig., 45 tabl., 25 annexes

- SisFrance, (2012) Sismicité de la France. Histoire et caractéristiques des séismes ressentis en France. Disponible en: [www.sisfrance.fr](http://www.sisfrance.fr).
- SISMICAT (2003) Pla Especial d'Emergències Sísmiques de Catalunya (SISMICAT), DOG Núm 3912 -26.6.2003.
- Susagna, T. y Goula, X. (2013) Nota sobre la selecció de registres para el anàlisi de amplificació de sòls en les dos zones pilot. Zona1, regió Val d'Aran, Luchon y St-Beat y Zona 2, Girona ciutat. Informe R11 SISPy.
- Susagna, T., Roca A., Goula, X y Batlló, J. (1994) Analysis of macroseismic and instrumental data for the study of the November 19, 1923 earthquake in the Aran Valley (Central Pyrenees). Natural Hazards. 10:7-17.



## **ANEXO. Tipologías CONSTRUCTIVAS**

SisPyr. Tipología Luchonnais - Saint Béat - Val d'Aran

**Tipo 1 (T1) : casa tradicional, mampostería en piedra**



**Situación :**

en los cascos urbanos o históricos, en las zonas

**Época :**

anterior años 1950

**Aspecto:**

- Dos niveles (planta baja y 1r piso) más el bajo cubierta, que generalmente se habilita también como vivienda.
- Vivienda unifamiliar.
- Tejado en pizarras.
- Chimeneas y tragaluces

**Estructura y factores de vulnerabilidad**

Paredes de carga en mampostería de piedra, unidas con mortero de baja calidad. Las esquinas de los edificios son generalmente hechas con piedras de mejor calidad y mida más grande. Los muros están unidos mediante el aparejamiento alternado de las piedras, siendo por lo tanto una conexión de baja resistencia. La estructura de la cubierta y los forjados son de madera. El tejado se apoya en el muro de carga, siendo la conexión entre los con estacas de madera, con poca resistencia a desplazamientos horizontales. Los dinteles de las aperturas son en general de madera. Presencia de chimeneas y tragaluces.

**Comentarios**

Muchos de estos edificios han sido renovados. El tipo de intervención y las técnicas y materiales utilizados en estos trabajos son variados, pero en general, mantienen el piso de madera. En muchos casos las intervenciones retienen los muros de carga de piedra, pero en otros casos se añaden elementos de hormigón y las paredes exteriores de piedra solo tienen un papel decorativo. Desde el punto de vista de su resistencia a los terremotos no está claro cuál será el impacto de estas intervenciones, y esto hace que sea muy difícil un tratamiento estadístico. En el presente trabajo se consideró que estas obras de renovación no alteran la vulnerabilidad (ni la incrementan ni la reducen), sin olvidar la posible dispersión de los resultados causados por este hecho.

**Tipo RISK-UE** (el más probable): M1.2

**Tipo EMS-98** (el más probable): A-B

SisPyr. Tipología Luchonnais - Saint Béat - Val d'Aran

**Tipo 1' (T1') : hoteles y grandes edificios de Luchon, mampostería en piedra**



**Situación geográfica:**  
casco urbano de  
Bagnères de Luchon.

**Época:**  
final del XIX e inicios  
del XX

**Aspecto:**  
- 4 a 6 niveles.  
- Vivienda plurifamiliar.  
- Bajo cubierta habilitado en  
vivienda.  
- Balcones y tragaluces.

#### **Estructura y factores de vulnerabilidad**

Muros de carga con mampostería de piedra, elementos con piedra de sillería.  
Elementos de piedra o piedra artificial (ventanas, esquinas). Uso de las piedras de sillería en los ángulos.  
Muros de carga interiores.  
Planta baja de mayor altura.

#### **Comentarios**

Este tipo de construcción se ha encontrado en el pueblo de Luchon, donde la importante expansión urbana que tuvo lugar durante el siglo XIX e inicios del XX, con el desarrollo del balneario indujo la construcción de grandes edificios. Este tipo se distingue de la casa tradicional (tipo 1) porque los materiales y las técnicas de construcción no son exactamente los mismos y por otro lado ya que albergan varias viviendas, a diferencia de la casa tradicional que es unifamiliar.

**Tipo RISK-UE** (el más probable): M1.2 - M1.3

**Tipo EMS-98** (el más probable): B

SisPyr. Tipología Luchonnais - Saint Béat - Val d'Aran

**Tipo 2 (T2) : muros de carga de mampostería sin reforzar, vigueta y bovedilla**



**Situación geográfica :**  
 - Nuevos barrios de viviendas unifamiliares, urbanizaciones.  
 - Construcciones recientes en casco viejo

**Época:**  
 a partir de los años 1950-60, con la incorporación progresiva del hormigón como material de construcción

**Aspecto :**  
 -1 a 2 niveles.  
 -Casa unifamiliar.  
 -Techo doble pendiente.

**Estructura y factores de vulnerabilidad**

Muros de carga exteriores de mampostería. Ladrillos de arcilla o bloques de aglomerado.  
 Forjado composite , con vigas y bovedillas de mampostería de hormigón.  
 Mortero de buena calidad.  
 En las casas en construcción no se ha observado el uso de refuerzo vertical en las esquinas o el las aperturas.  
 Irregularidades en elevación o en planta.

**Comentarios**

Edificios aislados o agregados, con excepción de algunos situados en el centro de la ciudad.

**Tipo RISK-UE** (el más probable):M3.3 - M3.2

**Tipo EMS-98** (el más probable):C



SisPyr. Tipología Luchonnais - Saint Béat - Val d'Aran

**Tipo 3 (T3) : muros de carga de mampostería, forjado con losa de hormigón**



**Situación geográfica :**

- Nuevos barrios de viviendas unifamiliares, urbanizaciones.
- Construcciones recientes en casco viejo

**Época:**

a partir de los años 1960

**Aspecto :**

- 1 o 2 niveles.
- Casa unifamiliar.
- Techo doble pendiente.

**Estructura y factores de vulnerabilidad**

Muros de carga exteriores de mampostería.  
Ladrillos de arcilla o bloques de aglomerado.  
Forjado de hormigón.  
Irregularidades en elevación o en planta.

**Comentarios**

Edificios aislados o agregados.  
Difícil a distinguir del tipo 2 desde el exterior. Según los arquitectos de la zona el tipo 2 es más frecuente.

**Tipo RISK-UE** (el más probable):M3.4

**Tipo EMS-98** (el más probable):C

SisPyr. Tipología Luchonnais - Saint Béat - Val d'Aran

**Tipo 4 (T4): Sistema pórticos hormigón armado – relleno mampostería**



**Situación geográfica**

-Barrios residenciales cercanos estación esquí Baqueira  
-Viviendas plurifamiliares casco urbano

**Época :**

a partir de los años 1970

**Aspecto :**

- Más de 4 niveles  
- Viviendas plurifamiliares  
Edificios aislados

**Estructura y factores de vulnerabilidad**

Estructura en pórticos de hormigón armado y relleno con muros de mampostería no reforzada.

Irregularidades en la estructura: niveles transparentes, rellenos parciales con ladrillos (efecto columnas bloqueadas), asimetrías...

Irregularidades en planta y en elevación.

Vulnerabilidad asociada a los elementos no estructurales, los rellenos en mampostería y a las irregularidades de la estructura.

**Comentarios**

Tipo mayoritario de la vivienda plurifamiliar en Val d'Aran. Gran construcción de estos edificios a partir de la apertura de las pistas de esquí en Baqueira (años 1970).

**Tipo RISK-UE** el más probable RC3.2

**Tipo EMS-98** el más probable C



SisPyR. Tipología Luchonnais - Saint B at - Val d'Aran

**Tipo 5 (T5) : muros de corte de hormigón**



<b>Situación geográfica:</b> Edificios de viviendas en Francia	<b>�poca :</b> A partir de los años 1980	<b>Aspecto :</b> - 4 a 5 niveles - Edificios plurifamiliares
---	---	--

**Estructura y factores de vulnerabilidad**

Estructura de muros de corte de hormigón armado. A veces se trata de un sistema mixto entre muros y pórticos de hormigón.

En general, edificios con mucha rigidez en ambas fachadas.

Vulnerabilidad asociada a formas irregulares de los edificios y/o elementos no estructurales.

Toma en cuenta de las normas sísmicas francesas PS69 y PS92.

**Comentarios**

Este tipo sólo se ha encontrado en el lado francés de la zona de estudio

**Tipo RISK-UE** (el más probable): RC2 – RC4

**Tipo EMS-98** (el más probable): D-E

SisPyr. Tipología Luchonnais - Saint Béat - Val d'Aran

Tipo 6 (T6) : estructura de acero, relleno con muros de mampostería no reforzada



**Situación/localización:**  
Algunos edificios cerca de la estación de Baqueira

**Época :**  
Construcción reciente (últimos 10 años)

**Aspecto :**  
- 4 a 5 niveles  
- Bloques de pisos

#### **Estructura y factores de vulnerabilidad**

Estructura metálica de acero (sin arriostramiento observado) con relleno de muros de fábrica (bloques de hormigón) sin reforzar.

Vulnerabilidad asociada a la fuerte diferencia de rigidez entre los muros de mampostería y la estructura metálica.

#### **Comentario**

Tipo de construcción muy poco frecuente, observado únicamente en algunos edificios cercanos a la estación de esquí de Baqueira.

**Tipo RISK-UE** (el más probable): S3

**Tipo EMS-98** (el más probable): E

SisPyr. Tipología Luchonnais - Saint Béat - Val d'Aran

**Tipo 7 (T7) : chalet de madera**



**Situación geográfica:**  
Zonas residenciales  
próximas a pistas de esquí

**Época :**  
Des de 1980 hasta ahora

**Aspecto:**  
- 1 a 2 niveles  
- Unifamiliar  
- Segunda residencia

**Estructura y factores de vulnerabilidad**

Estructura de madera sobre una base en hormigón.  
Salvo los casos en que la madera se encuentre en mal estado de conservación, este tipo de construcción se considera poco vulnerable.

**Comentario**

Tipo de construcción muy poco frecuente. Se ha encontrado un grupo de bungalós cerca de la estación de esquí de Mourtis. También se observan puntualmente chalets en madera a lo largo de toda la zona.

**Tipo RISK-UE** (el más probable): W

**Tipo EMS-98** (el más probable): D