

ANEXOS - PLANINPA

PLAN ESPECIAL DE PROTECCION CIVIL ANTE EL RIESGO DE INUNDACIONES DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS



ANEXOS

- ANEXO I METODOLOGÍA Y RESULTADO DE ANÁLISIS DE RIESGOS – CARTOGRAFIA
- ANEXO II UMBRALES DE LOS SISTEMAS DE PREVISION Y ALERTA
- ANEXO III PROCEDIMIENTOS DE COMUNICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PREVISION Y ALERTA
- ANEXO IV PROCEDIMIENTOS DE COMUNICACIÓN EN FASE DE PREEMERGENCIA Y EN FASE DE EMERGENCIA
- ANEXO V PLANES DE EMERGENCIA PRESAS APROBADOS
- ANEXO VI GUIA DE INFORMACION A LA POBLACION

ANEXO I – METODOLOGIA Y RESULTADOS DEL ANALISIS DE RIESGOS - CARTOGRAFIA

I. INTRODUCCIÓN

1. PRESENTACIÓN	3
2. TIPOLOGÍA DE LAS INUNDACIONES EN ASTURIAS	7
2.1. INUNDACIONES LIGADAS A LA DINÁMICA FLUVIAL	8
2.2. INUNDACIONES LIGADAS A DINÁMICA TORRENCIAL	10
2.3. INUNDACIONES LIGADAS A LA DINÁMICA MARINA	11
2.3.1. Acciones estáticas	11
2.3.2. Acciones dinámicas	13
2.4. INUNDACIONES POR OBSTRUCCIÓN DE CAUCES	14
2.4.1. Estrechamientos naturales	14
2.4.2. Estrechamientos artificiales	16
2.5. INUNDACIONES POR DEFICIENCIA DE DRENAJE	17
3. METODOLOGÍA GENERAL	21

II. PELIGROSIDAD: ANÁLISIS HISTÓRICO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	27
2. METODOLOGÍA	31
2.1. FUENTES DOCUMENTALES	31
2.1.1. Publicaciones	31
2.1.2. Hemeroteca	32
2.2. ENCUESTAS	33
2.2.1. Validación. Caudal y precipitaciones	34
3. RESULTADOS	37
3.1. DAÑOS HISTÓRICOS	40
3.2. EJEMPLO: EL CASO DEL RÍO BEDÓN	42
4. BIBLIOGRAFÍA	45

III. PELIGROSIDAD: ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LLANURAS ALUVIALES

1. INTRODUCCIÓN	49
2. METODOLOGÍA	51
2.1. SELECCIÓN DE LLANURAS ALUVIALES – FOTOGRAFÍA AÉREA	52
2.2. TRABAJO DE CAMPO	53
2.3. RESTITUCIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN	53
3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO	55
3.1. INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS	55
3.1.1. El canal principal	55
3.1.2. La llanura aluvial	56
3.1.3. Evidencias geomorfológicas en la llanura	57
3.1.4. Otros indicadores	64
3.2. INCIDENCIA DE LA INTERVENCIÓN ANTRÓPICA	66
3.2.1. Puntos conflictivos antrópicos	67
3.2.2. Canalizaciones	72
3.2.3. Embalses	74
3.2.4. Otras actuaciones antrópicas	75
4. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	77
4.1. DATOS HISTÓRICOS	77

4.2. LA ALTURA DE LAS ORILLAS Y LOS DATOS DE CAUDAL	79
4.3. INCIDENCIA DE PUNTOS CONFLICTIVOS	81
5. ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD ALUVIAL	83
5.1. DESBORDAMIENTOS FLUVIALES	84
5.1.1. Inundación muy frecuente	84
5.1.2. Inundación frecuente	87
5.1.3. Inundación ocasional	90
5.1.4. Inundación excepcional	91
5.1.5. Zonas desligadas de la dinámica fluvial	92
5.2. OTRAS INUNDACIONES	93
5.2.1. Inundación marina	93
5.2.2. Inundaciones por deficiencias de drenaje	95
5.2.3. Ejemplo: Río Chico (Cuenca Bajo Sella)	95
6. BIBLIOGRAFÍA	99

IV. PELIGROSIDAD: ANÁLISIS HIDRÁULICO DE AVENIDAS FLUVIALES

1. INTRODUCCIÓN	103
2. ZONA DE ESTUDIO	105
3. ESTUDIO HIDROLÓGICO	107
3.1. ANÁLISIS DEL TERRENO Y MODELO DE CUENCA	108
3.1.1. Modelos digitales del terreno	108
3.1.2. Parámetros físicos e hidrológicos	113
3.1.3. Modelo de cuenca de HEC-HMS	117
3.2. ESCORRENTÍA: EL NÚMERO DE CURVA	120
3.2.1. Grupos hidrológicos del suelo	122
3.2.2. Usos del suelo	130
3.2.3. La pendiente	132
3.2.4. El número de curva	135
3.2.5. Parámetros de entrada en HEC-HMS	140
3.3. TRANSFORMACIÓN LLUVIA-ESCORRENTÍA	142
3.4. TRÁNSITO DE CAUDALES	143
3.5. MODELO METEOROLÓGICO	146
3.5.1. Ajuste de la lluvia a periodos de retorno	149
3.5.2. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia	151
3.5.3. Tormenta de diseño	152
3.5.4. Modelo meteorológico de HEC-HMS	153
3.6. ANÁLISIS HIDROLÓGICO	153
3.6.1. Especificaciones de control de HEC-HMS	154
3.6.2. Modelo agregado por subcuencas: caudales punta	154
4. ESTUDIO HIDRÁULICO	157
4.1. ANÁLISIS DEL TERRENO	158
4.2. INTEGRACIÓN EN HEC-RAS	160
4.2.1. Bancos y secciones transversales del cauce	160
4.2.2. Pérdida de carga: N de Manning	163
4.2.3. Modelo unidimensional gradualmente variado	163
4.3. RESULTADOS: EXTENSIÓN DE LA LÁMINA DE AGUA	164
5. CONCLUSIONES	171
6. BIBLIOGRAFÍA	173

V. PELIGROSIDAD: ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE SISTEMAS TORRENCIALES

1. INTRODUCCIÓN	179
2. PECULIARIDADES DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES	181
2.1. IMPREVISIBILIDAD DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES	181
2.2. ALTA CAPACIDAD EROSIVA Y DE TRANSPORTE	182
2.3. FORMACIÓN Y COLAPSO DE PRESAS NATURALES	183
3. ANTECEDENTES	185
4. METODOLOGÍA	187
4.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS TORRENCIALES	188
4.1.1. Abanicos aluviales	188
4.1.2. Desencajamiento de cauces torrenciales	190
4.1.3. Fondos de valle torrenciales	191
4.2. ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD TORRENCIAL	192
5. RESULTADOS	195
5.1. DISTRIBUCIÓN DE LA PELIGROSIDAD TORRENCIAL	195
5.2. ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD TORRENCIAL	199
6. BIBLIOGRAFÍA	202

VI. PELIGROSIDAD: OTROS RIESGOS, INESTABILIDAD DE LADERAS

1. INTRODUCCIÓN	207
2. METODOLOGÍA	211
2.1. GEOLOGÍA DEL SUSTRATO	212
2.2. PRESENCIA DE FORMACIONES SUPERFICIALES	213
2.3. PRESENCIA DE ANTIGUOS MOVIMIENTOS EN MASA	213
2.4. FACTORES DEL RELIEVE: LA PENDIENTE	214
2.5. ÁREAS DE ROQUEDOS, CANCHALES Y DEPÓSITOS DE ÁREAS LLANAS	215
2.6. COMBINACIÓN DE FACTORES	215
3. EL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD	217
4. BIBLIOGRAFÍA	219

VII. ELEMENTOS EN RIESGO: VULNERABILIDAD

1. MARCO DE REFERENCIA	223
1.1. LA VULNERABILIDAD	223
1.1.1. La Directriz Básica	223
1.1.2. El concepto de vulnerabilidad	224
1.1.3. Tipos de vulnerabilidad	226
1.1.4. Vulnerabilidad diferencial de los elementos	230
1.2. DAÑOS POR INUNDACIONES	231
1.2.1. Tipos de daños	231
1.2.2. Características de las inundaciones y daños	236
1.2.3. Daños por inundación en los diferentes usos	243
1.3. METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS	259
1.3.1. Estimación de pérdidas	259
1.3.2. Elaboración de índices de daños	262
1.3.3. Las funciones de daños	265
1.4. ANÁLISIS DE CASOS	271
1.4.1. Comunidad Valenciana	271

1.4.2. País Vasco	276
1.4.3. Cataluña	279
1.4.4. El Libro Blanco del Agua en España	284
2. METODOLOGÍA	289
2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN RIESGO	289
2.1.1. Grupo 1: Usos agrarios y vinculados al cauce.	291
2.1.2. Grupo 2: Usos residenciales.	292
2.1.3. Grupo 3: Usos industriales.	294
2.1.4. Grupo 4: Usos terciarios.	296
2.1.5. Grupo 5: Dotaciones y equipamientos.	297
2.1.6. Grupo 6: Infraestructuras de transporte.	299
2.1.7. Grupo 7: Infraestructuras de servicio.	300
2.2. INVENTARIO DE ELEMENTOS EN RIESGO	302
2.2.1. Fuentes de información territorial utilizada	302
2.2.2. Inventario de elementos en riesgo	309
2.2.3. Explotación de los catálogos de BIC y PLATERPA.	315
2.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	319
2.3.1. El concepto de vulnerabilidad adoptado	319
2.3.2. Metodología para la estimación de la vulnerabilidad	320
3. BIBLIOGRAFÍA	361

VIII. ESTIMACIÓN DEL RIESGO

1. INTRODUCCIÓN	367
2. CALCULO DEL RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL	368
3. EL MAPA DE RIESGO	370

ANEXOS

ANEXO 1. ESTIMACIONES MONETARIAS DE LAS PÉRDIDAS SEGÚN LA ACTIVIDAD

ANEXO 2. TIPOS DE ELEMENTOS EN RIESGO

Índice de Figuras

I. Introducción

Figura 1. Meandro de Quinzanas canalizado e inundación posterior a la canalización	8
Figura 2. Distribución por meses de los caudales máximos en el río Esva (1970-71 y 2003-04)	9
Figura 3. Torrente en la localidad de Barzana (Cuenca del río Cubia).	10
Figura 4. Inundación durante una marea equinoccial en el estuario de Tina Mayor (Río Deva).	12
Figura 5. Imágenes en la desembocadura del río Esva (1956 u 1983). Episodio de tormenta.	13
Figura 6. Trazado elevado del ferrocarril adyacente al cauce del río Aller.	18
Figura 7. Inundaciones por deficiencias de drenaje en los porreos de Villaviciosa.	19
Figura 8. Vega del río Nalón antes y después de una avenida.	20
Figura 9. Inundación del paso bajo la vía de ferrocarril en Avilés.	20
Figura 10. Metodología desarrollada en la determinación del riesgo por inundaciones.	22

II. Peligrosidad: Análisis Histórico

Figura 11. Aspecto de la cartografía de las inundaciones históricas en formato papel.	34
Figura 12. Gráfica de caudales máximos diarios de agosto de 1988.	35
Figura 13. Caudales Instantáneos para el río Bedón.	43

III. Peligrosidad: Análisis Geomorfológico de Llanuras Aluviales

Figura 14. Meandro del Sablón en el río Nalón.	55
Figura 15. Llanuras aluviales ligadas a la confluencia del río Cubia y el Nalón.	56
Figura 16. Contactos neto y gradual de la llanura aluvial con el inicio de la ladera.	57
Figura 17. Niveles de terraza ubicados a distinta altura respecto al lecho del río.	58
Figura 18. Escarpes ligados al canal principal.	58
Figura 19. Bustiello de Paredes en el río Esva, antes y después de la inundación de 2003.	59
Figura 20. Morfologías de canales secundarios.	60
Figura 21. Escarpe artificial a la izquierda y cambio de pendiente gradual a la derecha.	60
Figura 22. Formación de un canal secundario en la margen izquierda del río.	61
Figura 23. Barras sedimentarias de meandro y longitudinales en el río Navia.	61
Figura 24. Imágenes de depósitos ligados a una inundación.	62
Figura 25. Distribución de sedimentos ligados a la inundación de noviembre de 2003 (Arlós).	63
Figura 26. Topografía irregular en las márgenes de los ríos Nalón y Nonaya.	63
Figura 27. Erosión y desbordamientos favorables en las zonas de meandro.	64
Figura 28. Confluencia de los ríos Nalón y Narcea.	65
Figura 29. Socavación local en el puente de San Timoteo durante la avenida de 2003.	68
Figura 30. Diferentes tipos de estructuras instaladas en las márgenes de los cauces.	73
Figura 31. Drenaje instalado en un muro dentro de las vegas del río Aller.	76
Figura 32. Zonificación de la peligrosidad usando geomorfología y datos históricos.	79
Figura 33. Zona de entrada de la inundación hacia la vega con edificación.	80
Figura 34. Aspecto de los terrenos englobados dentro de la zona <i>Inundación muy frecuente</i> .	85
Figura 35. Distintas inundaciones en Pravia (Nalón).	86
Figura 36. Zonas incluidas en la categoría de <i>Inundación muy frecuente</i> en el valle del Narcea.	87
Figura 37. Llanuras aluviales pertenecientes a la categoría <i>Inundación Frecuente</i> .	88

Figura 38. Inundación de noviembre de 2003 en la Vega de Bainas (Río Esva).	89
Figura 39. Peñallán afectadas por inundaciones en el río Nalón.	89
Figura 40. Datos históricos y análisis geomorfológico en la zonificación de peligrosidad.	91
Figura 41. Avenida de 1993 (Entrego). Márgenes consideradas como <i>inundación excepcional</i> .	92
Figura 42. Inundación mareal y fluvial en Barayo.	94
Figura 43. Zonificación de la peligrosidad en la confluencia de los ríos Chico y Sella.	97

IV. Peligrosidad: Análisis Hidráulico de Avenidas Fluviales

Figura 44. Proporciones de los tipos de zonas torrenciales cartografiadas.	105
Figura 45. Zonas en las que se ha medido el error con los modelos LIDAR.	110
Figura 46. Modelo digital de subcuencas y de red hidrográfica en la subcuenca de Villanueva.	112
Figura 47. Modelo digital de subcuencas, longitud mayor posible y posición del centroide.	115
Figura 48. Esquema hidrológico de la subcuenca de Villanueva.	119
Figura 49. Modelo Compound Topographic Index o Modelo de Humedad en la zona de estudio.	125
Figura 50. Grupos hidrológicos clasificados en los grupos ABCD establecidos por el SCS.	128
Figura 51. Grupos hidrológicos clasificados en los grupos ABCD establecidos por el SCS.	129
Figura 52. Usos del suelo clasificados según los criterios establecidos por el SCS.	131
Figura 53. Modelo digital de pendientes en porcentaje para la zona de estudio.	133
Figura 54. Modelo digital de pendientes en porcentaje reclasificado según SCS.	134
Figura 55. Modelo digital del número de curva para la zona de estudio.	138
Figura 56. Modelo digital del número de curva promediado para cada subcuenca.	139
Figura 57. Ubicación de las estaciones meteorológicas del INM en la cuenca del Cobia.	147
Figura 58. Distribución precipitación máxima en 24 horas mensual para la estación de Grado.	148
Figura 59. Ajuste de los datos de precipitación a la función de distribución SQRT.	151
Figura 60. Hidrogramas estimados en la desembocadura para diferentes periodos de retorno.	155
Figura 61. Topografía utilizada en la construcción del modelo digital del terreno.	159
Figura 62. Modelo TIN de la zona de estudio del modelo hidráulico.	160
Figura 63. Secciones transversales generadas para la zona de estudio hidráulico.	161
Figura 64. Extensión estimada de la lámina de agua para diferentes periodos de retorno.	169
Figura 65. Visión panorámica en 3D de la lámina de agua para diferentes periodos de retorno.	170

V. Peligrosidad: Análisis Geomorfológico de Sistemas Torrenciales

Figura 66. Evidencias geomorfológicas en torrentes.	182
Figura 67. Mapa de las zonas dañadas por una corriente de derrubios.	184
Figura 68. Nº de víctimas en España por inundaciones en cuencas torrenciales y fluviales.	184
Figura 69. Algunos criterios empleados en la identificación de abanicos aluviales.	189
Figura 70. Desencajamientos torrenciales.	191
Figura 71. Panorámica y representación del fondo de valle torrencial del río Morcín.	192
Figura 72. Criterios empleados en las zonas con peligrosidad media.	194
Figura 73. Distribución de las zonas amenazadas por actividad torrencial en Asturias.	196
Figura 74. Proporciones de los tipos de zonas torrenciales cartografiadas.	197
Figura 75. Tipos de zonas torrenciales cartografiadas en función del grado de exposición.	197
Figura 76. Porcentaje de superficie amenazada por la actividad torrencial por cuencas.	198
Figura 77. Porcentaje por áreas de los niveles de peligrosidad usados en la cartografía.	199
Figura 78. Zonificación de la peligrosidad en Caunedo, (Concejo de Somiedo).	201

VI. Peligrosidad: Otros Riesgos, Inestabilidad de Laderas

Figura 79. Inestabilidades de ladera desarrolladas en Asturias durante otoño-invierno de 2003	208
Figura 80. Deslizamiento en la Cuenca fluvial del río Trubia.	209
Figura 81. Esquema de trabajo seguido en la elaboración del Modelo de susceptibilidad.	216
Figura 82. Frecuencia de las clases de susceptibilidad por cuencas.	218

VII. Elementos en Riesgo: Vulnerabilidad

Figura 83. Esquema representativo del tipo de costes provocados por una inundación	232
Figura 84. Capacidad destructiva de la combinación velocidad-calado.	240
Figura 85. Esquema representativo del tipo de daños según el uso del territorio afectado	244
Figura 86. Curvas de daños elaboradas por el Natural Hazards Research Centre	266
Figura 87. Curva de costes de limpieza calculados en días por persona).	267
Figura 88. Curvas de daños elaboradas por HKV Consultants (Holanda).	267
Figura 89. Curvas de daños elaboradas por el Ministerio Holandés de Transportes.	269
Figura 90. Curvas de daños elaboradas por el <i>Flood Hazards Research Centre</i>	270
Figura 91. Evolución del porcentaje de daños en función del calado para uso genérico.	273
Figura 92. Definición de polígonos elementales. Fuente: PATRICOVA	275
Figura 93. Fragmento de la hoja 29-26 del Mapa Topográfico Digital 1/5.000	303
Figura 94. Fechas de la EIEL del Principado de Asturias por concejos.	305
Figura 95. Fragmento del Plano director del vuelo 1:15.000 de 2003 del Principado de Asturias.	308
Figura 96. Fragmento del ámbito de estudio de la cuenca del Río Güeña.	309
Figura 97. Imagen de vuelo de 2003 del Polígono Industrial de Olloniego (Oviedo).	311
Figura 98. Reconocimiento de campo	311
Figura 99. Aspecto de un mapa tras el reconocimiento de campo (Langreo).	312
Figura 100. Códigos del campo COD_USO de la <i>feature class</i> de polígonos (Gijón).	314
Figura 101. Mapa de usos del suelo representado con una leyenda abreviada (Mieres).	315
Figura 102. Construcción de indicador agregado de vulnerabilidad	321
Figura 103. Representación cualitativa de Indicadores primarios de vulnerabilidad (Mieres)	351
Figura 104. Representación cualitativa del Indicador Agregado de Vulnerabilidad (Mieres)	360

VIII. Estimación del Riesgo

Figura 105. Representación del riesgo de inundación fluvial en el Mapa de Riesgo.	369
Figura 106. Leyenda del riesgo de inundación fluvial.	370
Figura 107. Leyenda de la peligrosidad ligada a otros procesos y otras unidades.	371
Figura 108. Leyenda de los puntos conflictivos representados en Mapa de Riesgo.	372
Figura 109. Distribución de hojas de la cuenca del Trubia (clave 905).	372

Índice de Tablas

I. Introducción

Tabla 1. Inundaciones históricas en Oviedo, Gijón y Avilés según hemeroteca (1980-2001). ___ 18

Tabla 2. Cuencas y subcuencas hidrográficas utilizadas en el presente estudio. _____ 21

II. Peligrosidad: Análisis Histórico

Tabla 3. Inundaciones históricas registradas por cuencas hidrográficas. _____ 38

Tabla 4. Inundaciones históricas registradas por municipios y número de fichas. _____ 39

Tabla 5. Daños registrados en las fichas sobre inundaciones históricas por cuencas. _____ 41

Tabla 6. Caudales máximos instantáneos registrados en el río Bedón. _____ 44

III. Peligrosidad: Análisis Geomorfológico de Llanuras Aluviales

TABLA 7. Puntos conflictivos identificados en la zonificación de la peligrosidad. _____ 68

IV. Peligrosidad: Análisis Hidráulico de Avenidas Fluviales

Tabla 8. Error en la precisión del MDE. Comparación con error.EMA, ECM y RECM _____ 109

Tabla 9. Error en la precisión del modelo. Comparación con puntos obtenidos de LIDAR. _____ 110

Tabla 10. Cota máxima (cota1), la cota mínima (cota2) y la pendiente (m/m). _____ 114

Tabla 11. Cota máxima (cota1), cota mínima (cota2), pendiente (S) y longitud máxima de flujo 117

Tabla 12. Número de curva para condiciones medias de humedad _____ 121

Tabla 13. Clasificación hidrológica de la litología combinada con el espesor (MDE) _____ 126

Tabla 14. Clasificación hidrológica de los recubrimientos superficiales de la zona. _____ 127

Tabla 15. Clasificación hidrológica de las zonas con roquedos. _____ 127

Tabla 16. Equivalencias entre los usos del suelo del proyecto CORINE Land Cover y del SCS. 130

Tabla 17. Números primos en cada clase de las tres variables que intervienen en NC. _____ 135

Tabla 18. Equivalencias números primos y parámetro número de curva (NC). _____ 137

Tabla 19. Valor promediado del número de curva (NC) y de la abstracción inicial (Ai) _____ 141

Tabla 20. Valor promediado para subcuencas del parámetro retardo (Lag) _____ 143

Tabla 21. Valores de K y número de subtramos (Ns) para $X = 0.3$ y tiempo de 3 minutos. _____ 146

Tabla 22. Resumen de las estaciones meteorológicas del INM en el área de estudio. _____ 146

Tabla 23. Estadísticos de la estación meteorológica de Grado. _____ 149

Tabla 24. Precipitaciones estimadas para diferentes periodos de retorno. _____ 150

Tabla 25. Valores de intensidad (mm/h) y precipitación (mm) para cada periodo de retorno ___ 152

Tabla 26. Incrementos e incrementos alternados de precipitación para cada periodo de retorno 153

Tabla 27. Caudales punta para cada periodo de retorno en la desembocadura de la cuenca. ___ 154

Tabla 28. Distancias entre las secciones transversales generadas aguas abajo. _____ 163

Tabla 29. Altura (m) de la lámina de agua en cada sección transversal. _____ 165

Tabla 30. Pendiente de la línea de energía en cada sección para cada periodo de retorno. ___ 166

Tabla 31. Velocidad media del flujo en cada sección transversal para cada periodo de retorno. 167

Tabla 32. Número de Froude en cada sección transversal para cada periodo de retorno. _____ 168

V. Peligrosidad: Análisis Geomorfológico de Sistemas Torrenciales

Tabla 33. Topografía y material fotogramétrico empleado en la identificación de torrentes _____	188
Tabla 34. Clasificación de las áreas torrenciales en función del grado de exposición. _____	192

VII. Elementos en Riesgo: Vulnerabilidad

Tabla 35. Tipos de edificios diferenciados en el National Flood Insurance Program de la FEMA.	230
Tabla 36. Matriz de evaluación de la vulnerabilidad por inundaciones. _____	230
Tabla 37. Descripción y clasificación de las pérdidas y daños habituales por las inundaciones.	233
Tabla 38. Porcentajes que suponen los costes indirectos respecto de los costes directos. _____	234
Tabla 39. Estimaciones de la magnitud de las pérdidas intangibles por inundaciones. _____	235
Tabla 40. Importancia de características de las inundaciones en elementos del sistema _____	238
Tabla 41. Indicadores de vulnerabilidad de los componentes de las casas de Centro-Europa. _____	245
Tabla 42. Clasificación de los costes producidos por las inundaciones en los usos dotacionales.	247
Tabla 43. Costes producidos por las inundaciones en usos comerciales-industriales. _____	249
Tabla 44. Clasificación de los costes producidos por las inundaciones en las infraestructuras _____	256
Tabla 45. Clasificación de los costes producidos por las inundaciones en los usos agrarios. _____	258
Tabla 46. Adecuación de los enfoques de estimación de pérdidas. _____	260
Tabla 47. Metodologías para estimar pérdidas económicas directas _____	261
Tabla 48. Metodologías para estimar pérdidas económicas indirectas _____	261
Tabla 49. Metodologías para estimar pérdidas económicas intangibles _____	261
Tabla 50. Factor de daños sobre diferentes tipos de usos del suelo según el calado _____	262
Tabla 51. Factor de daños según el Ministerio holandés de transportes (rws). _____	263
Tabla 52. Cuantías de los daños (en euros de 1995) según tipos de usos. _____	264
Tabla 53. Factor de daños en estructuras y contenidos según RWS _____	265
Tabla 54. Zonificación del Riesgo del PATRICOVA. Fuente: Adaptado de PATRICOVA (2002) _____	273
Tabla 55. Vulnerabilidad por daños directos según los distintos usos del suelo. _____	274
Tabla 56. Matriz de impacto del INUNCAT'97. _____	283
Tabla 57. Zonificación del Riesgo del Libro Blanco del Agua en España. _____	284
Tabla 58. Esquema de usos del suelo en zonas de nuevo planeamiento en áreas inundables. _____	288
Tabla 59. Grupos y clases de usos del inventario de elementos en riesgo. _____	290
Tabla 60. Grupo 1, Usos agrarios y vinculados al cauce. _____	291
Tabla 61. Grupo 2, Usos residenciales. _____	292
Tabla 62. Grupo 3, Usos industriales. _____	295
Tabla 63. Grupo 4, Usos terciarios. _____	296
Tabla 64. Grupo 5, Dotaciones y equipamientos. _____	297
Tabla 65. Grupo 6, Infraestructuras de transporte. _____	300
Tabla 66. Grupo 6, Infraestructuras de servicio. _____	301
Tabla 67. Trazados de carreteras consultados para el inventario de elementos en riesgo. _____	307
Tabla 68. Categorías del Inventario de Medios y Recursos del PLATERPA _____	317
Tabla 69. Elementos no localizados y problemas detectados en el catálogo del PLATERPA. _____	318
Tabla 70. Importes indemnizados por el consorcio de compensación de seguros en Asturias _____	324
Tabla 71. Cuantías máximas de pérdidas económicas directas _____	325
Tabla 72. Estimación de VED para la clase 23, Áreas con predominio de uso residencial. _____	327
Tabla 73. Cuantías máximas de daño económico directo por unidad de superficie. VED y VEI _____	332
Tabla 74. Síntesis de los valores utilizados en el cálculo de las pérdidas económicas indirectas _____	337

Tabla 75. Valores del Indicador de vulnerabilidad de la población (VP) _____	343
Tabla 76. Valores del Indicador de vulnerabilidad colectiva (VC)_____	349
Tabla 77. Valores de los indicadores primarios y Agregado de Vulnerabilidad (IAV) _____	355
Tabla 78. Indicador Agregado de Vulnerabilidad (IAV). _____	359

VIII. Estimación del Riesgo

Tabla 79. Clasificación de los valores de riesgo por inundación fluvial. _____	370
Tabla 80. Codificación de las cuencas y subcuencas hidrográficas. _____	373

I. INTRODUCCIÓN

Una de las cuestiones de ámbito territorial que mayor preocupación causa en la sociedad es el riesgo de inundaciones. Se trata del riesgo geológico con mayor capacidad destructiva y mayor trascendencia económica en España. Entre las inundaciones más catastróficas ocurridas en el país, destacan las que tuvieron lugar en Cataluña en los años 1874 y 1962, que provocaron 1600 muertes y destruyeron 5700 viviendas, o las de Murcia en los años 1651, 1802 y 1879, que en conjunto provocaron 2500 muertes.

Los daños provocados por este tipo de eventos dependen de diferentes factores. Las inundaciones fluviales de Andalucía occidental en el año 1996 provocaron pérdidas de 70.000 millones de pesetas y cuatro víctimas mortales en accidentes de tráfico, mientras que la avenida torrencial de Biescas, ocurrida en el mismo año, ocasionó más de 87 víctimas mortales y escasos daños materiales. Estas diferencias en los daños provocados dependen de:

- La severidad del suceso. No es igual una inundación en un tramo bajo de una gran cuenca que la que se produce de improviso, con abundante caudal sólido, en una cuenca torrencial.
- La exposición. No tiene la misma importancia social un suceso que puede afectar a 1.000 personas que otro que afecta a 100.
- La vulnerabilidad. No tiene igual riesgo una tienda de campaña que una edificación.

Hasta hace poco tiempo se venía asumiendo un planteamiento determinista ante el riesgo de inundaciones, partiendo de su carácter impredecible. Esta tendencia ha evolucionado hacia un planteamiento posibilista y activo, en el que es posible detectar diferentes tipos de riesgo de inundación y, en consecuencia, es posible mitigar e incluso evitar sus efectos negativos. Como algunos autores señalan, para desarrollar una política activa en materia de riesgo es necesario

aplicar el principio de *conocer para prever, prever para prevenir*. En resumen, se parte de la idea de que el conocimiento del riesgo de inundación permite prever sus efectos y, por tanto, evitarlos.

Estas premisas promovieron la aprobación de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante los Riesgos de Inundaciones (Acuerdo de Consejo de Ministros, 9 de diciembre de 1994). De acuerdo con esta Directriz, se elaborarán Planes Especiales de emergencia que incluyan un análisis de riesgos y zonificación territorial.

En dicho análisis se clasificarán las áreas inundables en función de la peligrosidad considerando tres zonas, frecuente, ocasional y excepcional, es decir, zonas inundables para avenidas con período de retorno de 50, 100 y 500 años respectivamente. Para estas zonas deberán estimarse, en la medida de lo posible, las afecciones y daños que puedan producirse sobre los elementos en riesgo atendiendo a su vulnerabilidad ante una avenida. Finalmente, mediante la combinación de ambos factores, se clasificarán las zonas inundables por razón del riesgo diferenciando entre Zona A (riesgo alto), Zona B (riesgo significativo) y Zona C (riesgo bajo). Adicionalmente se deberán catalogar los puntos conflictivos y fenómenos geológicos asociados a precipitaciones o avenidas, concretamente, el riesgo de generación de movimientos de ladera.

Atendiendo a lo establecido en la mencionada Directriz Básica surge el presente documento, encargado por PROTECCIÓN CIVIL -112 ASTURIAS-(CONSEJERÍA DE JUSTICIA, SEGURIDAD PÚBLICA Y RELACIONES EXTERIORES) al INDUROT (Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio) de la Universidad de Oviedo. El objetivo del presente trabajo es zonificar el riesgo de inundación ligado a los sistemas fluviales, considerando la frecuencia con que se producen los desbordamientos y la vulnerabilidad de los usos y elementos expuestos.

La metodología seguida a la hora de zonificar el riesgo frente a las inundaciones se basa en un estudio multidisciplinar en el que se han aplicado diversos métodos de estudio para cada uno de los factores que intervienen en la estimación del riesgo. El análisis se ha efectuado a escala 1:5.000, utilizando como base el Mapa Topográfico Digital del Principado de Asturias.

En primer lugar, se han aplicado criterios geomorfológicos a la hora de delimitar las superficies inundables ligadas a llanuras fluviales y sistemas torrenciales. La zonificación de la peligrosidad se basa en la cartografía en campo de las evidencias geomorfológicas, combinando esta información con datos sobre inundaciones históricas obtenidos de fuentes documentales y de una exhaustiva encuesta a la población ribereña.

Como resultado de este análisis se obtiene un mapa de peligrosidad en el que, además de clasificar las zonas inundables atendiendo a los periodos de retorno establecidos en la Directriz, se incorpora una zona adicional equivalente a las avenidas con período de retorno de 10 años. Complementariamente al estudio

de peligrosidad se realiza una modelización hidrológico-hidráulica de uno de los tramos fluviales analizados.

Además, dentro del ámbito de la peligrosidad, se ha incorporado la delimitación de los terrenos fluviales afectados por inundaciones ligadas a la acción de las mareas, así como a las deficiencias de drenaje producidas por precipitaciones “*in situ*”, escorrentía o desbordamientos.

Respecto a la peligrosidad relacionada con la generación de movimientos de ladera, en el presente estudio se elabora un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) para toda la región, construido a partir de la topografía 1:5.000 del Principado de Asturias. La combinación de este MDE con diferentes criterios geológicos, geomorfológicos y de relieve permite desarrollar un modelo de susceptibilidad frente a las inestabilidades superficiales, con una resolución de celda de 10 metros.

En segundo lugar, para la estimación de la vulnerabilidad se ha realizado un exhaustivo inventario cartográfico de los diferentes usos del suelo y la edificación expuestos al fenómeno de avenida, para lo cual ha sido necesario desarrollar una intensa labor de campo dando contenidos a la base cartográfica. Dada la fecha de realización de la citada cartografía, y el grado de transformación de algunas partes del territorio, ha sido necesario abordar una importante labor de actualización recurriendo a diversas fuentes de información territorial y sectorial y a los datos recogidos en el propio trabajo de campo.

En el presente estudio se ha considerado que la vulnerabilidad de los elementos en riesgo depende de su sensibilidad o fragilidad ante la exposición al fenómeno y del impacto o la importancia que dicha afección o pérdida tendrá en el sistema. Por lo tanto, la vulnerabilidad total de los elementos incluidos en cada uno de los tipos de elementos diferenciados en el inventario se ha concebido como un indicador agregado, compuesto, básicamente, por otros tres indicadores de carácter primario que representan información sobre la vulnerabilidad en tres ámbitos diferentes, pero complementarios: pérdidas materiales (vulnerabilidad económica directa e indirecta), pérdida de vidas humanas (vulnerabilidad de la población) y merma en la capacidad de respuesta e interrupción de la provisión de servicios (vulnerabilidad colectiva). Por último, aunque de una forma más limitada, también se ha considerado la posible afección a los Bienes de Interés Cultural como elementos irremplazables.

Por último, mediante la combinación de las variables de peligrosidad y vulnerabilidad, se ha realizado la zonificación del riesgo clasificando el ámbito fluvial en zonas con riesgo muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Al igual que el resto de las capas temáticas (a excepción de la peligrosidad de movimientos de ladera) el mapa de riesgo se presenta a una escala 1:5.000 e incluye, además, información sobre la peligrosidad ligada a la actividad torrencial, un inventario de puntos conflictivos en las zonas fluviales y torrenciales analizadas, las áreas

afectadas por deficiencias de drenaje y a la acción de las mareas, así como, las zonas con peligrosidad de inundación fluvial sin vulnerabilidad significativa.

Hay que destacar que, a pesar de que análisis del riesgo de inundación se ha efectuado a una escala detallada, en comparación con otros estudios regionales existentes en la actualidad, se trata de un estudio orientado a las premisas establecidas en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante los Riesgos de Inundaciones. En consecuencia, a la hora de analizar el fenómeno en áreas más reducidas son necesarios estudios complementarios al realizado en el presente informe, utilizando escalas de trabajo más detalladas y completando los resultados con análisis hidrológicos de las cuencas fluviales y torrenciales implicadas.

2. TIPOLOGÍA DE LAS INUNDACIONES EN ASTURIAS

Según la Directriz Básica ante el riesgo de inundaciones, se considera zona inundable aquella parte del territorio normalmente seca que queda sumergida temporalmente, como consecuencia de la aportación inusual, más o menos repentina, de una cantidad de agua superior a la que es habitual en una zona determinada.

Aunque el fenómeno de inundaciones se asocia generalmente a las crecidas en los ríos, es decir, al aumento anormal del nivel del agua en los cauces naturales, existen otras causas capaces de provocar inundaciones, las cuales pueden incluso producirse simultáneamente. En el caso de la región asturiana, deben de considerarse los siguientes tipos de inundaciones:

- Inundaciones ligadas a desbordamientos de cauces:
 - Fluviales
 - Torrenciales
- Inundaciones ligadas a acciones marinas
- Inundaciones por deficiencias de drenaje
- Inundaciones por obstrucción de cauces

Las zonas con mayor probabilidad de sufrir este tipo de inundaciones se concentran en las llanuras aluviales y sistemas torrenciales. Dentro de estos dos ámbitos, y partiendo de unos umbrales mínimos de extensión, se ha llevado a cabo un análisis de la peligrosidad a escala 1:5000.

Las inundaciones por rotura o la operación incorrecta de obras de infraestructura hidráulica no se analizan en el presente estudio, dependientes de la elaboración e implantación de los Planes de Emergencia de Presas por los titulares de las mismas.

2.1. INUNDACIONES LIGADAS A LA DINÁMICA FLUVIAL

Como consecuencia de la presentación de un caudal extraordinario se puede producir el desbordamiento del río de su cauce ordinario, pasando a ocupar las vegas adyacentes. La aparición de un caudal extraordinario, así como la importancia y magnitud del mismo es debido, generalmente, a la combinación de una serie de factores como la precipitación, fusión de la nieve, características de la cuenca, presencia de embalses, actividad humana, etc.

Desde que el agua precipita hasta que el cauce se desborda intervienen otros procesos como la evaporación, infiltración y retención por parte de la vegetación y de las capas superficiales y subsuperficiales del suelo, contribuyendo a reducir el volumen de agua que llega hasta los cauces. Este volumen, que puede medirse a través de la escorrentía, es el que al irse acumulando en los cauces de órdenes sucesivos podrá generar el desbordamiento (Figura 1).



Figura 1. A la izquierda, meandro de Quinzanas canalizado. A la derecha, inundación posterior a la canalización durante una avenida en el río Narcea.

Por lo tanto, la inundación depende no sólo de los procesos climatológicos desencadenantes sino de otros muchos procesos pasivos que si bien no son generadores de la inundación, si contribuyen a intensificarla, aumentando la escorrentía o reduciendo su tiempo de concentración. Entre estos agentes pasivos destacan la permeabilidad de las litologías aflorantes, el área y forma de la cuenca hidrográfica, la pendiente, la altitud y la densidad de la cubierta vegetal.

Las litologías permeables, la vegetación y las bajas pendientes favorecen la infiltración del agua en el subsuelo, disminuyendo la escorrentía superficial y el tiempo de concentración. De este modo, una cuenca de drenaje con alta infiltración y baja escorrentía superficial será menos susceptible a las inundaciones que una cuenca urbanizada y con escasa cubierta vegetal, en la que

gran parte del agua de lluvia circula por superficie, incorporándose rápidamente a los ríos. Cuando la capacidad de drenaje es insuficiente para la magnitud de los caudales recogidos por la cuenca vertiente, se produce la inundación.

La precipitación es un fenómeno irregularmente distribuido, tanto en el espacio como en el tiempo, lo que trae consigo que el régimen de caudales de los ríos sea variable y que estos sobrepasen periódicamente los límites de su cauce ordinario, produciendo la inmersión de las zonas próximas a los mismos. Los ríos asturianos pertenecen, por lo general, a los tipos pluvial y pluvio-nival oceánico, donde los valores máximos de caudal se suelen alcanzar en los meses de diciembre a abril.

Como norma general, los cauces asturianos cuyas cabeceras están localizadas a bajas altitudes, como el río Nora o el Piloña, los ríos costeros y los tramos medio y bajo de los ríos Narcea, Navia y Eo, presentan un régimen de comportamiento pluvial de tipo oceánico. En este tipo de régimen, el patrón de distribución del caudal se adapta al de las precipitaciones anuales, mostrando por lo general un valor máximo de caudal principal en los meses invernales y otro secundario en primavera (Figura 2).

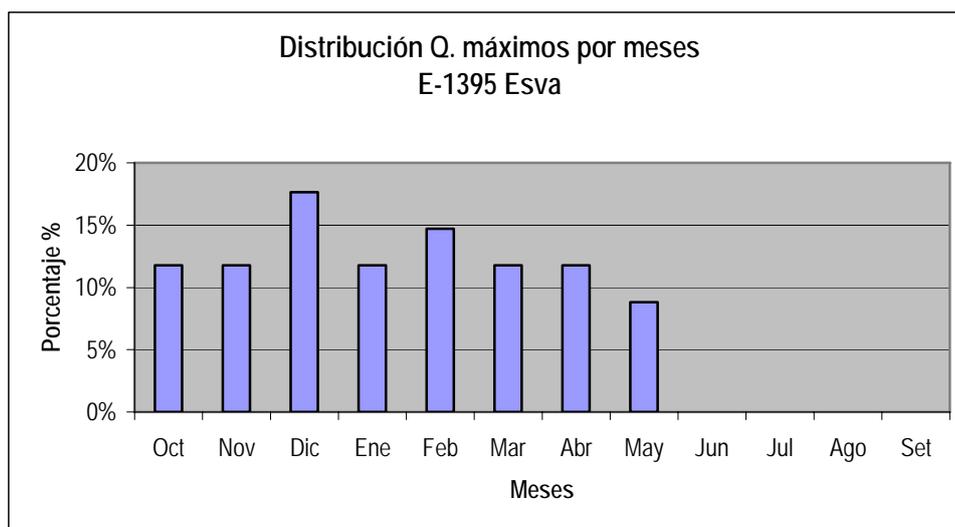


Figura 2. Distribución por meses de los caudales máximos en el río Esva, para el periodo comprendido entre los años hidrológicos 1970-71 y 2003-04.

Como representación del régimen pluvio-nival se encuentran los tramos más altos del río Nalón, aguas arriba de Grado, el río Narcea en Cangas de Narcea o el Sella en Cangas de Onís. El pluviograma de estas cuencas se caracteriza por dos máximos de precipitación: uno invernal y otro primaveral, siendo más alto el primero. Asociados a ellos, el hidrograma muestra igualmente dos valores máximos de caudal, de tal modo que el máximo principal de precipitación se corresponde con el secundario de caudal y viceversa. Ello se debe a que durante el invierno, parte de la precipitación queda retenida en la

cabecera en forma de nieve y el resto alimenta la circulación de agua en el cauce. Durante la primavera tiene lugar la fusión de la nieve, de modo que el caudal se incrementa notablemente con respecto al que cabría esperar como respuesta a las precipitaciones.

El resto de los cauces muestra una influencia nival más o menos acusada en su comportamiento a lo largo del año. Así, ríos como el Lena, Cares o Urdón en sus tramos más altos, corresponden al tipo nivo-pluvial. La distribución anual de los valores de caudal muestra un máximo primaveral durante los meses de abril y mayo debido a la fusión de nieve retenida durante el invierno. Por el contrario, los valores de coeficiente de caudal en enero son bajos, como respuesta a la retención invernal de agua en estado sólido en las zonas montañosas.

2.2. INUNDACIONES LIGADAS A DINÁMICA TORRENCIAL

Las lluvias que originan avenidas pueden ser de tipo frontal, con una duración de varios días y gran extensión superficial, y de tipo convectivo, cuya duración es desde 24 horas a unas pocas horas de duración, caracterizadas por intensidades muy importantes. Estas últimas originan lluvias más espasmódicas y con menor tiempo de reacción por parte de la población sometida al riesgo, al concentrar un gran caudal punta en un corto espacio de tiempo. Este tipo de precipitaciones son las más peligrosas en cuencas de pequeño tamaño, pudiendo provocar importantes daños en las poblaciones ubicadas sobre los abanicos torrenciales asociados (Figura 3).



Figura 3. Torrente en la localidad de Barzana (Cuenca del río Cubia).

El término “torrencial” ha sido ampliamente utilizado en la literatura científica, en contraposición a “fluvial”, para referirse a cursos de agua de carácter estacional caracterizados por perfiles longitudinales muy pendientes, tiempos de respuesta muy cortos frente a las precipitaciones y mecanismos de transporte variados, abarcando desde los flujos tractivos convencionales de los sistemas fluviales a los flujos gravitatorios de sedimento.

Debido a sus características la actividad torrencial supone un factor de riesgo muy importante en áreas montañosas húmedas, como es el caso de la vertiente asturiana de la Cordillera Cantábrica. La distribución de la actividad torrencial en el Principado de Asturias es irregular, estando controlada por la orografía, la litología del substrato y los factores climáticos. No obstante, todas las cuencas hidrográficas manifiestan un comportamiento torrencial a lo largo de los cauces de orden más bajo, realizándose para el presente estudio un análisis detallado de gran parte de ellos, como se explica en el capítulo dedicado a la actividad torrencial.

2.3. INUNDACIONES LIGADAS A LA DINÁMICA MARINA

Las acciones del mar provocan inundaciones en la región asturiana, pudiendo distinguirse dos tipos (TRAGSA, 2003): estáticas y dinámicas.

2.3.1. ACCIONES ESTÁTICAS

Hacen referencia a las inundaciones provocadas por las mareas, directa o indirectamente, a lo largo de una desembocadura fluvial (Figura 4). Las crecidas fluviales se ven agravadas como consecuencia de una subida transitoria del nivel del mar a lo largo de un estuario, produciendo un retardo en la evacuación de caudales y elevando el nivel de las aguas. Representa un problema importante en los ríos cantábricos si tenemos en cuenta que, para un periodo de 19 años, la altura de la máxima pleamar predecible alcanza los 5,10 m respecto al Cero del Puerto de Gijón (Instituto Hidrográfico de la Marina), unos 3 m por encima del Nivel Medio del mar en Alicante.

Hay que tener en cuenta que en estos medios estuarinos, al igual que en las llanuras fluviales, no todos los terrenos son inundados por las mareas con igual frecuencia. En función de la afección mareal podemos encontrar diversos ambientes, que de mayor a menor inundación son: llanuras intermareales

desnudas, marismas inferiores y llanuras supramareales o marismas superiores. Estamos hablando de terrenos que son inundados todos los días, unos días al mes durante mareas vivas o unos días al año o cada pocos años durante mareas equinocciales. Lógicamente, representan zonas topográficamente muy bajas con respecto al cauce principal, siendo muy susceptibles a inundarse durante pequeñas avenidas fluviales.



Figura 4. Inundación durante una marea equinoccial en el estuario de Tina Mayor, desembocadura del Río Deva.

Por otra parte, el radio de afección por inundaciones mareales se encuentra muy condicionado por el caudal que transporte el río en un determinado momento y por la envergadura de la marea. Cuando se produce la coincidencia de niveles elevados en ambos casos, las consecuencias negativas de las inundaciones asociadas pueden incrementarse de forma notable. Algunas de las desembocaduras fluviales asturianas especialmente sensibles están ligadas a los ríos Nalón, Sella y Deva, donde el efecto de las mareas se deja sentir valle arriba hasta 12, 7 y 5 km respectivamente.

A modo de ejemplo podemos mencionar las inundaciones que tuvieron lugar en el Barrio de Llaranes en Avilés el 17 de noviembre de 2003, como consecuencia del desbordamiento del río Arlós. Aunque esta inundación se vio favorecida por variables de tipo antrópico, también ejerció una incidencia importante el taponamiento que sufrieron los caudales fluviales en su confluencia con la ría de Avilés, al coincidir parcialmente con un momento de marea alta. Destacar, no obstante, que los efectos podrían haber sido mucho mayores, ya que la pleamar ni era muy elevada (3,02 m) ni se encontraba en el momento más alto.

La coincidencia de mareas altas, tanto estacionales como diarias, con las avenidas, resulta de obligada consideración en los planes de emergencia frente a inundaciones, ya que pueden incrementar de forma importante los daños potenciales de una avenida.

2.3.2. ACCIONES DINÁMICAS

Las acciones dinámicas ligadas al mar en la costa cantábrica se asocian fundamentalmente al efecto de las olas durante una borrasca, las cuales son generalmente de alcance limitado, localizándose fundamentalmente en las desembocaduras fluviales.

Los ambientes más susceptibles de inundarse por esta dinámica, además de los espigones y zonas portuarias expuestas al mar abierto, se encuentran los depósitos que suelen confinar parcialmente las desembocaduras fluviales, como las barras de cantos y gravas o los sistemas dunares topográficamente más bajos.

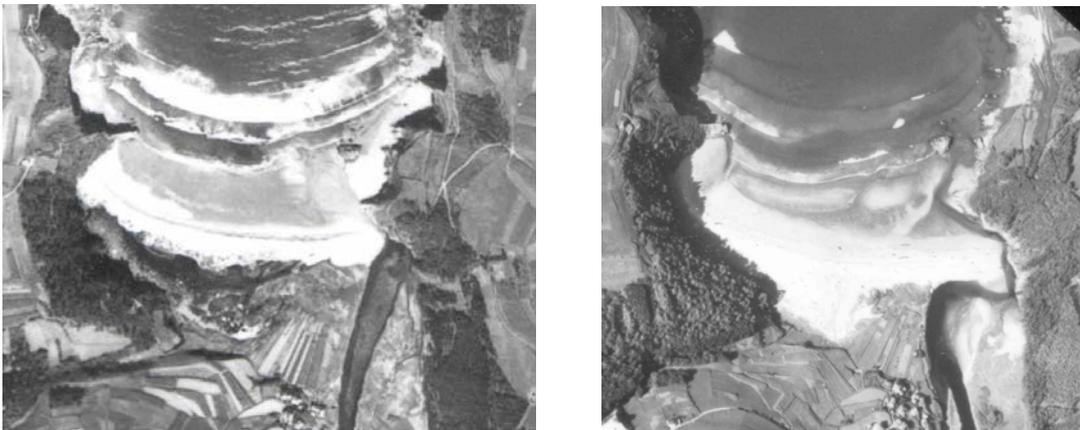


Figura 5. Imágenes correspondientes a los años 1956 (izquierda) y 1983 (derecha) en la desembocadura del río Esva. En esta última se manifiesta una progradación de los depósitos de playa hacia el interior debido a un episodio de tormenta.

Aunque las zonas frecuentemente afectadas por fuertes episodios de oleaje suelen mostrar claras evidencias geomorfológicas (mantos y lóbulos de tormenta), resulta difícil determinar cual puede ser el alcance máximo de este tipo de eventos, pudiendo penetrar hacia el interior grandes distancias. En este sentido puede destacarse la desembocadura del Río Esva en Canero, donde un episodio de tormenta, probablemente relacionado con la borrasca que afectó el litoral asturiano en la década de los 70, rellenó una amplia zona deprimida con depósitos de cantos, gravas y arenas (Figura 5).

2.4. INUNDACIONES POR OBSTRUCCIÓN DE CAUCES

Los cauces naturales pueden quedar obstruidos, parcial o totalmente, a consecuencia de acciones naturales o causas artificiales. En cualquier caso, cuando los altos caudales de una avenida alcanzan un paso estrecho, se produce una pérdida localizada de energía, una sobre-elevación del nivel aguas arriba y la inundación de los terrenos adyacentes. Al mismo tiempo, los terrenos situados aguas abajo de la obstrucción o estrechamiento reciben, tras superar el obstáculo, una onda de crecida sobre-elevada, de tal forma que la susceptibilidad a la inundación de los mismos es mucho mayor que la que pueda tener otras vegas con características similares, pero alejadas de posibles obstrucciones.

El problema que conlleva la cartografía de las áreas afectadas por este tipo de inundación reside en que, en la mayoría de los casos, es difícil determinar cual puede ser el grado o envergadura de las inundaciones derivadas. Es posible identificar estrechamientos artificiales ligados a puentes, aquellos más susceptibles de taponarse durante una avenida y que pueden provocar problemas de inundación. Sin embargo, participan múltiples factores en la respuesta, como la resistencia y estabilidad del puente, la reducción inducida en la sección de cauce, la envergadura de la avenida, la cantidad y el tipo de material arrastrado por la misma, etc. Incluso en el caso de que se produzca una obstrucción, la respuesta dependerá si el taponamiento es total o parcial, de las características del entorno, del volumen de agua represado, etc.

En otros casos, como obstrucciones ligadas a inestabilidades del terreno o provocadas por el material arrastrado por el propio cauce, el problema es el mismo. No obstante, en el primer caso se pueden determinar cuales son las zonas más susceptibles al desprendimiento, aunque el grado de afección en el cauce y los problemas de inundación derivados son difíciles de cuantificar y delimitar.

Por estos motivos, y ante la escala regional que posee el presente trabajo, el estudio se ha centrado en la identificación de aquellas zonas en las que existe mayor probabilidad de obstrucción y que pueden incrementar los efectos negativos de una avenida. Las distintas posibilidades consideradas se describen a continuación.

2.4.1. ESTRECHAMIENTOS NATURALES

Entre los estrechamientos naturales más frecuentes se encuentran:

1. **Tramos encañonados**, aquellos donde el cauce circula entre materiales resistentes a la erosión que limitan su divagación lateral y constriñen la avenida (Río Trubia entre materiales calcáreos).



2. **Depósitos litorales**. Grandes oleajes pueden taponar la desembocadura fluvial e inundar los terrenos ubicados aguas arriba (Río Uncín en la Concha de Artedo).



3. **Obstrucciones ligadas a inestabilidades del terreno**, capaces de represar grandes volúmenes de agua (Río Luiña, en la Cuenca del río Ibias).



4. **Obstrucciones** provocadas por el depósito de **material arrastrado por el propio cauce** (Arroyo de alta montaña parcialmente taponado por un tronco y un bloque de gran tamaño).



5. **Confluencias de ríos**. Los puntos de confluencia entre cauces inducen un efecto similar al resto de obstrucciones, especialmente si en ambos coinciden episodios de avenida (Confluencia de los ríos Nalón y Narcea. Las avenidas del río Nalón dificultan el desagüe del caudal del Narcea y viceversa).



2.4.2. ESTRECHAMIENTOS ARTIFICIALES

Los estrechamientos artificiales pueden ser de naturaleza muy variada, aunque los más frecuentes son aquellos ligados a puentes y pasarelas, rellenos de infraestructuras viarias transversales a las vegas y entubaciones.

Pilares de puentes retienen el material transportado durante avenidas (derecha). Las **Compuertas** pueden favorecer los desbordamientos. En la imagen (izquierda) se muestra la compuerta que favoreció las inundaciones en el Barrio de Llaranes (Avilés) durante la avenida de noviembre de 2003.



Puentes con secciones reducidas suelen favorecer los desbordamientos. Los mostrados en las fotografías fueron responsables de desbordamientos en las márgenes adyacentes (Río Arlós).



Entubación en proceso de colmatación. Representan estructuras muy frecuentes en la red fluvial que suelen mostrar secciones insuficientes durante episodios de avenidas y en los que la probabilidad de obstrucción es muy elevada.



La posibilidad de obstrucción de los puentes representa uno de los aspectos más peligrosos durante avenidas, como lo atestiguan los datos históricos. Esta disminución en la sección libre de la infraestructura, que en ocasiones puede ser total, se traduce en una elevación del nivel aguas arriba del puente que puede llegar a superar los niveles de resistencia del mismo. En este caso, los materiales acumulados por el propio río, junto a los restos de la estructura artificial desmantelada, acaban siendo arrastrados repentinamente por la fuerza del agua,

provocando una onda de avenida aguas abajo cuya agresividad se ha visto notablemente incrementada con respecto a las condiciones naturales.

Respecto a los rellenos ligados a infraestructuras viarias ubicados transversalmente a la llanura fluvial, aunque en ocasiones no reduzcan la sección natural del cauce, sí imponen una notable disminución de la sección aprovechable por las avenidas. Dicho relleno trasversal redirige los caudales del desbordamiento distribuidos sobre la vega hacia el único punto de salida, ubicado en el cauce. Es decir, se induce artificialmente un efecto similar al que ejercen los estrechamientos naturales, como los ligados a tramos encañonados, con las consiguientes afecciones en las vegas ubicadas aguas arriba y abajo de la estructura.

2.5. INUNDACIONES POR DEFICIENCIA DE DRENAJE

La topografía plana de las llanuras aluviales es favorable a la presencia de zonas con deficiencia de drenaje. Esta retención de las aguas puede producirse porque los terrenos presentan una topografía deprimida respecto a la de su entorno, o por la obstrucción de zonas de desagüe: alcantarillado, entubaciones o, incluso, sumideros cársticos. Las aguas retenidas en estas zonas pueden ser aportadas directamente por las precipitaciones, por elevaciones en los niveles freáticos, por desbordamientos fluviales, etc.

Aunque este tipo de inundación no suele ser de gran calado, salvo en zonas puntales, presentan unos tiempos de permanencia elevados, pudiendo producir cuantiosos daños a la agricultura, a la población debido a su interferencia en las comunicaciones o, incluso, en las edificaciones afectadas.

De la consulta realizada en 7285 periódicos de la Nueva España, abarcando el periodo comprendido entre los años 1980 y 2001, las localidades con mayor número de inundaciones históricas registradas (más de 20 noticias) no se produjeron por desbordamientos fluviales sino que estaban relacionadas con deficiencias de drenaje (Tabla 1).

Concretamente, las localidades más afectadas eran los cascos urbanos de Oviedo, Gijón y Avilés, que han manifestado numerosos problemas en el sistema de drenaje de pluviales. Ello se debe a que, por una parte, el alcantarillado es altamente susceptible de obstruirse por materiales arrastrados por las aguas. Por otro lado, en la mayor parte de las ciudades españolas la red de drenaje se ha diseñado para precipitaciones con periodos de retorno bajos, generalmente entre

2 y 25 años, claramente insuficientes para evacuar las aguas aportadas durante episodios excepcionales de fuertes precipitaciones. Este problema no se manifiesta por igual en todo el núcleo urbano sino que suele afectar a determinados puntos dentro del mismo (Tabla 1).

OVIEDO (20)	GIJÓN (23)	AVILÉS (24)
C/ Hermanos Pidal (4)	Tremañes (7)	C/ Rivero (7)
C/ Argañosa (2)	Puerta de la Villa (4)	C/ Industria (2)
C/ Comandante Caballero (2)	Carretera de la costa (3)	C/ Llano Ponte (1)

Tabla 1. Número de inundaciones históricas registradas en los núcleos urbanos de Oviedo, Gijón y Avilés, y puntos conflictivos dentro de cada uno, según la información obtenida de la hemeroteca (1980-2001).

Otro ejemplo de inundaciones ligadas a deficiencias de drenaje se encuentra en Posada de Llanes, una de las localidades en la que más inundaciones se registraron en la recopilación efectuada en la hemeroteca. Dichas inundaciones fueron provocadas por problemas de evacuación de pluviales que presenta el sumidero de la dolina en la que se ubica la población. En la actualidad el problema parece haberse solucionado tras aumentar artificialmente la sección del sumidero.

Otras grandes áreas con deficiencias de drenaje se ubican sobre las llanuras aluviales en relación con el trazado de numerosas vías de comunicación, las cuales aíslan terrenos en la vega en numerosas ocasiones (Figura 6), constituyendo verdaderos diques que impiden la evacuación natural del agua. Estas limitaciones convierten las zonas inundadas en eventuales embalses que pueden permanecer durante largos períodos de tiempo, siendo difícil su eliminación natural debido a las bajas velocidades y gradientes existentes. Aunque en ocasiones estos viales presentan pasos para facilitar la evacuación de las aguas retenidas, la mayoría de las veces son entubaciones con una sección insuficiente, siendo fácil su obstrucción debido a sedimentos y objetos flotantes transportados por las aguas.



Figura 6. Trazado elevado del ferrocarril adyacente al cauce del río Aller. Restringe las inundaciones en la vega pero favorece el encharcamiento por deficiencia de drenaje.

La problemática ligada a las deficiencias de drenaje varía en función de la pendiente de los terrenos implicados. En zonas de montaña, generalmente la capacidad de desagüe es mayor debido a la mayor pendiente, mientras que en las llanuras aluviales ubicadas en los tramos más bajos de la red fluvial, este tipo de inundación puede afectar a grandes extensiones de terreno con los inconvenientes asociados a una inmersión prolongada. Este fenómeno es frecuente en las vegas recorridas por infraestructuras (Figura 6), en los porreos presentes en numerosos estuarios como Villaviciosa y Ribadesella (Figura 7) y en las amplias vegas ligadas a cuencas costeras (río Uncín) y tramos bajos de la red fluvial (Río Nalón) (Figura 8).

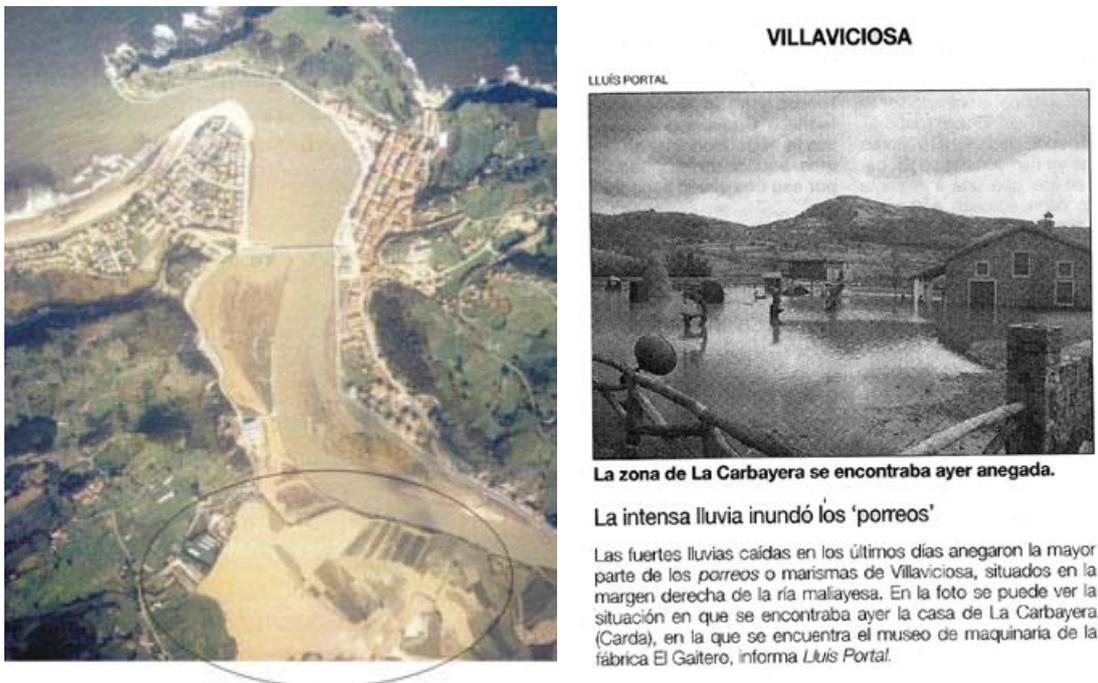


Figura 7. Retención de una inundación fluvial ligada al río Sella como consecuencia de un dique de represamiento mareal (Izquierda). A la derecha noticia en La Voz de Asturias sobre inundaciones por deficiencias de drenaje en los porreos de Villaviciosa.

También son frecuentes las inundaciones por deficiencias de drenaje en los pasos inferiores de viales con topografía deprimida, ligados muchas veces a carreteras que salvan infraestructuras elevadas. Estas zonas son favorables al estancamiento del agua procedente tanto de la lluvia como de los desbordamientos (Figura 9), provocando numerosos cortes en las comunicaciones.



Figura 8. Vega del río Nalón antes y después de una avenida, aguas abajo de la localidad de Pravia. La inundación se mantiene durante varios días debido a la topografía deprimida de los terrenos.



Figura 9. Inundación del paso bajo la vía de ferrocarril en Avilés debido a un episodio de fuertes precipitaciones.

Lógicamente, existen multitud de terrenos no aluviales frecuentemente encharcados o sometidos a inundaciones ligadas a deficiencias de drenaje: fondos de dolinas, lagunas montañosas colmatadas total o parcialmente, superficies planas ligadas a las rasas litorales y numerosas poblaciones en las que puntualmente se puede producir una obstrucción del alcantarillado. La diversidad de condicionantes que intervienen en la generación de inundaciones por deficiencia de drenaje así como la escala 1:5.000 utilizada en el presente estudio obligaría a un laborioso análisis de todo el territorio asturiano.

Por estos motivos, la delimitación de las zonas susceptibles a inundarse por deficiencia de drenaje se ha centrado en las llanuras aluviales, donde se concentra la mayor parte de los terrenos susceptibles de verse afectados por este tipo de inundación. Concretamente, se identifican aquellos terrenos aluviales que por su topografía deprimida respecto a la de su entorno son más susceptibles de inundarse, bien durante episodios de fuertes precipitaciones o por desbordamientos fluviales.

3. METODOLOGÍA GENERAL

La red hidrográfica fue analizada por cuencas y subcuencas usando las unidades utilizadas por la Confederación Hidrográfica del Norte (Tabla 2). La delimitación de las cuencas ha sido modificada para su ajuste con la topografía 1:5000 utilizada en el presente estudio.

CLAVE	DENOMINACIÓN	AREA(KM ²)	CAUCE(KM)
100	EO	276	184
200	PORCIA y COSTEROS	243	168
301	BAJO NAVIA	284	195
302	ALTO NAVIA	469	236
303	AGÜEIRA	267	152
304	IBIAS	387	132
400	NEGRO y COSTEROS	176	141
500	ESVA	464	338
600	COSTA CENTRO OCC.	172	134
701	MEDIO NARCEA	535	308
702	ALTO NARCEA	912	387
703	PIGÜEÑA	404	157
800	COSTA CENTRAL	538	368
901	BAJO NALON	378	263
902	NORA	384	259
903	CUBIA	214	121
904	MEDIO NALON	319	176
905	TRUBIA	484	191
906	CAUDAL	929	370
907	ALTO NALON	335	127
1000	COST. CENTRO/ORIENT.	479	274
1101	PILOÑA	507	230
1102	BAJO SELLA	132	76
1103	ALT. SELLA	396	130
1104	GÜEÑA	148	75
1200	COSTA ORIENT.	336	121
1300	CARES-CASAÑO	424	155
1400	SIL	11	5

Tabla 2. Cuencas y subcuencas hidrográficas utilizadas en el presente estudio.

La determinación del riesgo por inundaciones debidas a desbordamientos fluviales se ha realizado considerando la frecuencia de inundación y la vulnerabilidad obtenida de los usos del suelo, se ha llevado a cabo atendiendo los desbordamientos fluviales, los cuales representan el tipo de inundación más frecuente y problemático de la región asturiana. No obstante, en el mapa de riesgo se aporta información adicional sobre la peligrosidad ligada a la actividad torrencial, a la dinámica marina y a las deficiencias de drenaje, incluyendo además un inventario de puntos conflictivos en los tramos fluviales analizados. A continuación se muestran las etapas de trabajo seguidas a lo largo del estudio (Figura 10):

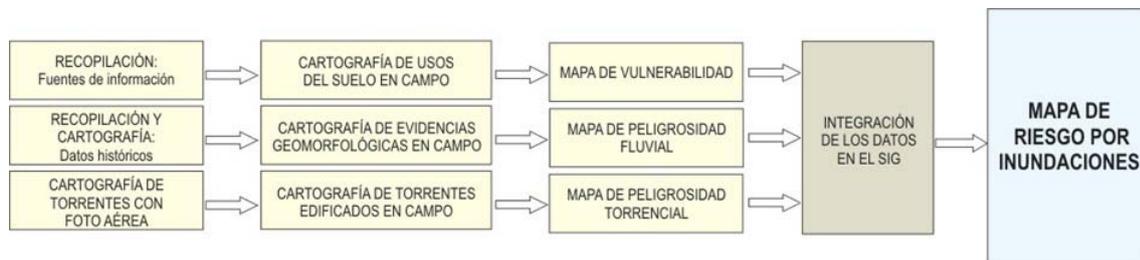


Figura 10. Metodología desarrollada en la determinación del riesgo por inundaciones en Asturias.

- **Recopilación bibliográfica** nacional e internacional relativa a las metodologías desarrolladas para analizar el riesgo de inundación. Establecimiento de la metodología a seguir en el trabajo.
- **Análisis histórico.** Recopilación de información sobre inundaciones históricas en fuentes documentales (hemeroteca y otras publicaciones) y a partir de encuestas a la población ribereña. Los primeros permiten identificar los principales puntos del territorio con problemas de inundación, mientras que las encuestas aportan datos sobre las características del evento y la superficie afectada por el mismo a escala 1:5.000. La información obtenida es almacenada en una base de datos, completada con los datos de precipitación y de caudal de aquellos eventos de los que se dispone de esta información. En esta etapa se realizaron 700 encuestas.
- **Análisis geomorfológico de llanuras aluviales.** Cartografía mediante trabajo de campo de evidencias geomorfológicas en llanuras aluviales a escala 1:5.000. Representa la información principal en la que se apoyará la determinación de la peligrosidad de inundación. En esta etapa se invirtieron 225 jornadas de campo, recorriendo 1396 km de cauces.
- **Cartografía de puntos conflictivos.** Inventario de puntos conflictivos naturales y artificiales presentes en la red fluvial y torrencial analizada en campo, acompañada en numerosas ocasiones por fotografías.

- **Información complementaria.** Los datos de altura correspondientes a caudales con un determinado periodo de retorno, obtenidos de las estaciones de aforo con periodos de registro superior a 10 años consecutivos, complementan el análisis geomorfológico. Información relativa a la fecha de construcción y capacidad de laminación de los embalses, junto al análisis de fotografías aéreas (periodo 1956-2003) y ortofotos disponibles, son considerados en algunos puntos de la red fluvial a la hora de establecer diferentes categorías de peligrosidad de inundación.
- **Restitución y elaboración de los mapas de peligrosidad fluvial.** Datos históricos, evidencias geomorfológicas e información complementaria son analizados conjuntamente, delimitando las unidades con diferente peligrosidad frente a las inundaciones fluviales: muy frecuente, frecuente, ocasional y excepcional (Periodos de retorno: 10, 50, 100 y 500 años).
- **Análisis geomorfológico de sistemas torrenciales.** Cartografía mediante fotografías aéreas de los sistemas torrenciales presentes en la región asturiana a escala 1:5.000. Del total de sistemas identificados, en 244 se realizó una cartografía de evidencias geomorfológicas a partir de trabajo de campo, aquellos que presentan mayor densidad de edificaciones.
- **Restitución y elaboración de los mapas de peligrosidad torrencial.** Delimitación de las unidades con diferente peligrosidad frente a las avenidas torrenciales. Cada sistema ha sido zonificado según las siguientes clases: actividad baja, media, alta y torrencial indiferenciado.
- **Cartografía y restitución de elementos en riesgo.** Trabajo de campo delimitando diferentes categorías de usos del suelo. Este análisis se complementa con la información obtenida en diversas fuentes de información. En esta etapa se invirtieron unas 200 jornadas de campo.
- **Elaboración de los mapas de vulnerabilidad.** Teniendo en cuenta los métodos existentes así como la cartografía de usos del suelo elaborada, se establecen diferentes indicadores de vulnerabilidad de los elementos expuestos en el medio fluvial, para calcular un indicador agregado que tiene en cuenta las pérdidas materiales (vulnerabilidad económica directa e indirecta), la pérdida de vidas humanas (vulnerabilidad de la población) y la merma en la capacidad de respuesta e interrupción de la provisión de servicios (vulnerabilidad colectiva), además de la posible afección a los Bienes de Interés Cultural.
- **Elaboración de los mapas de riesgo de inundación.** Vulnerabilidad y peligrosidad son combinados en un Sistema de Información Geográfica para obtener las diferentes categorías de riesgo de

inundación: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. El mapa de riesgo se presenta a una escala 1:5.000 e incluye, además, información sobre la peligrosidad ligada a la actividad torrencial, un inventario de puntos conflictivos en las zonas fluviales y torrenciales analizadas, las áreas afectadas por deficiencias de drenaje y por la acción de las mareas, así como, las zonas con peligrosidad de inundación fluvial sin vulnerabilidad significativa.

- **Desarrollo de un visor de inundaciones.** Permite consultar las distintas capas que conforman el estudio, las bases de datos y las fotografías correspondientes a los puntos conflictivos.
- **Redacción de la memoria.** Descripción de los aspectos metodológicos seguidos en el trabajo.

Como complemento y para validar la metodología desarrollada en el presente estudio, se ha ensayado una modelización hidrológica en la cuenca fluvial del Río Cubia y un estudio hidráulico en un tramo aluvial de la misma.

Finalmente, en lo relativo a fenómenos geológicos asociados a precipitaciones intensas, concretamente a la inestabilidad superficial en las laderas, se presenta un modelo de susceptibilidad para toda Asturias. A partir de él se ha realizado una cuantificación relativa del fenómeno en las diferentes cuencas fluviales asturianas, con una resolución de celda de 10 metros.

El conjunto del análisis efectuado en este estudio ha sido realizado por un equipo multidisciplinar formado por 18 personas, pertenecientes a las ramas de geología (geomorfología e hidrología), geografía e informática, durante un periodo aproximadamente de dos años. En los siguientes capítulos se describen las metodologías desarrolladas en cada una de las disciplinas implicadas.

II. PELIGROSIDAD: ANÁLISIS HISTÓRICO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La utilización de datos históricos sobre inundaciones posee en la actualidad un elevado potencial a la hora de mejorar el análisis del riesgo de inundación debido, por un lado, a que engloba un periodo de tiempo muy superior al registrado por las estaciones meteorológicas y de aforo y, por otro, a que se obtiene una primera imagen de cuales son los terrenos que se pueden ver afectados por una inundación.

Las estrategias utilizadas para prevenir las inundaciones que amenazan los asentamientos humanos deben seguir las mismas pautas que en ciencias como la medicina, es decir, es necesario realizar un primer diagnóstico basado en examinar las situaciones que han ocurrido con anterioridad. La gran ventaja del uso de datos históricos, método comparable al geomorfológico, es que representan datos reales que no derivan de resultados teóricos de cálculo, obteniéndose un conocimiento más realista del sistema fluvial natural, esencial para la determinación del riesgo de inundación.

Sin embargo, el problema principal que presenta la recopilación de este tipo de información es que las fuentes suelen ser poco precisas y nunca cubre con igual criterio todo el territorio, obteniendo finalmente una densidad de información sobre inundaciones, en la mayoría de los casos muy baja si lo comparamos con el esfuerzo invertido. Adicionalmente, se añaden otras limitaciones como la accesibilidad de los documentos, la heterogeneidad en la calidad de los datos, los frecuentes errores a la hora de transcribir o interpretar una inundación, y la objetividad de la misma, dependiente de la imparcialidad de la fuente que aporta la información.

Intentando solventar estos problemas y para obtener una base de datos sobre inundaciones históricas en Asturias lo más completa posible, en el presente trabajo se han abordado las siguientes etapas:

- Recopilación de información en fuentes documentales.

- Recopilación de información a partir de encuestas a la población.

La primera etapa permite obtener una primera imagen del problema de las inundaciones en la región, identificando las principales zonas conflictivas. La revisión documental ha partido de la recopilación, ya realizada por el MOPU en el año 1985, sobre el problema de las inundaciones en la Cuenca Norte de España. Para completar el periodo de registro hasta la actualidad, y obtener además una cronología de las inundaciones más continua en el tiempo, se llevó a cabo una recopilación de datos sobre inundaciones en el periódico La Nueva España, abarcando el periodo 1985-2001.

Aunque dicho análisis aporta una primera impresión del problema de las inundaciones en Asturias, la práctica totalidad de los datos que se obtienen de estas fuentes describen muy someramente los eventos y los daños provocados, además de poseer las siguientes limitaciones:

- Persiste la falta de continuidad en los registros, resulta difícil valorar la objetividad de la información y existen notables carencias respecto a la descripción obtenida del evento, tanto en sus características como en la ubicación del mismo.
- Los datos hacen referencia a aquellas inundaciones que han tenido algún impacto socio-económico en la región, las cuales no tienen porque coincidir con las zonas con mayor peligrosidad. Los datos dejan claramente infravaloradas otras zonas que por su baja densidad de población, la deficiencia de comunicaciones o el uso agroganadero no son documentadas.

Para completar la información, solventar la heterogeneidad y obtener cronologías y distribución de los eventos más homogénea, en la segunda etapa de trabajo se recopiló información sobre inundaciones acudiendo a la memoria histórica de los habitantes ribereños. Los objetivos perseguidos son:

- Completar la información de los eventos conocidos, incorporando además nuevos datos de zonas donde no existían noticias de haberse producido una determinada inundación.
- Obtener una continuidad en las fechas sobre inundaciones, incorporando eventos no registrados pero que están en la memoria de los que las vivieron.
- Características de cada inundación: velocidad, calado, sedimentación-erosión, etc.

- Superficie ocupada por el evento, independientemente del grado de ocupación antrópica de las vegas. Cartografía de la misma sobre topografías a escala 1:5.000.
- Identificación de problemas: daños provocados y puntos conflictivos.
- Completar la descripción con datos de caudal y precipitaciones en aquellos eventos de los que se dispone de esta información.

Lógicamente, esta segunda etapa requiere de una inversión de tiempo notablemente mayor a la primera, pero con resultados de gran aplicación al estudio de las inundaciones. Por un lado, la cartografía de la superficie ocupada por las inundaciones históricas permitirá apoyar y validar las unidades delimitadas en la llanura aluvial con los criterios geomorfológicos. Por otra parte, aporta información sobre la periodicidad mínima con que tienen lugar las inundaciones en una determinada zona, es decir, el periodo de retorno o frecuencia de presentación de las aguas en los terrenos pertenecientes al medio fluvial.

2. METODOLOGÍA

El análisis sobre inundaciones históricas se basó, por un lado, en la revisión de documentos y por otro, en la realización de encuestas a la población ribereña.

2.1. FUENTES DOCUMENTALES

La recopilación de datos sobre inundaciones históricas en Asturias a partir de fuentes documentales fue realizada por el INDUROT en el año 2001, dentro del proyecto titulado *Cartografía de los Riesgos Naturales en Asturias*, encargado por la Consejería de Infraestructuras y Política Territorial del Principado de Asturias. Este análisis se realizó, por un lado, en las colecciones elaboradas por el gobierno y relativas al fenómeno y, por otro, en el periódico La Nueva España, el de mayor tirada en la región.

2.1.1. PUBLICACIONES

En mayo de 1983 se creó la Comisión Técnica de Emergencia por Inundaciones, a instancias de la Comisión Nacional de Protección Civil. El objetivo de esta Comisión era, en una primera etapa, identificar y clasificar las zonas españolas habitualmente castigadas por las inundaciones y, posteriormente, determinar las medidas correctoras y preventivas más idóneas para reducir en ellas el riesgo de inundación. El trabajo fue encargado al entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU), que a través de la Dirección General de

Obras Hidráulicas elaboró un informe general en torno a la situación actual del país con respecto al riesgo de inundación.

El trabajo se realizó por cuencas hidrográficas, concluyendo el estudio de la Cuenca hidrográfica del Norte en diciembre de 1985. En la primera fase de elaboración se llevó a cabo una recopilación bibliográfica, no sólo en documentos publicados sino en archivos oficiales de la D.G.O.H., obispados, diputaciones, universidades, hemerotecas, archivos municipales y personales. Los resultados fueron publicados con el título “*Cuenca del Norte de España: Inundaciones históricas y Mapa de Riesgos potenciales*”.

De este documento se extrajeron los datos relativos a la región asturiana, abarcando el periodo comprendido entre el año 1522 hasta 1983. De las fichas referidas a inundaciones históricas se localizaron un total de 139 inundaciones, debido a que frecuentemente una misma ficha hacia referencia a problemas en diferentes lugares de la región.

En la segunda fase del trabajo realizado por la D.G.O.H. se publicó “*Cuenca del Norte de España: Acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por las inundaciones*”, donde se identificaron y jerarquizaron las diferentes zonas con riesgo potencial de inundaciones futuras, proponiéndose las soluciones para evitar o reducir sus efectos nocivos. Los mapas que acompañaron a este documento señalan los núcleos afectados por alguna inundación histórica, así como los inventariados como puntos conflictivos por la Dirección General de Obras Hidráulicas. En Asturias, del primer tipo hay catalogados 44 núcleos de población y del segundo 50, obteniéndose un total de 94 registros. Estos puntos solamente señalan poblaciones, careciendo de información relativa a las inundaciones que pudieron afectarlas.

2.1.2. HEMEROTECA

Debido a que los datos obtenidos de los informes realizados por Dirección General de Obras Hidráulicas (MOPU) abarcan hasta el año 1983, fue necesario recurrir a otra fuente para completar el inventario de inundaciones históricas hasta el año 2001, obtener descripciones de los eventos más detalladas así como ubicaciones más precisas. Para ello se procedió a extraer todas las noticias sobre inundaciones presentes en el diario “La Nueva España”, usando para ello la hemeroteca de la Biblioteca de Asturias en Oviedo.

El periodo de tiempo seleccionado para la consulta comprende desde enero de 1980 hasta junio de 2001, lo que requirió la revisión de un total de 7285 periódicos. Las noticias relacionadas con eventos de este tipo fueron 353. Debido a que muchas veces en una misma noticia se hacía referencia a inundaciones en más de una localidad, el total de localizaciones obtenidas fue de 456.

A pesar de que este análisis abarca un periodo de tiempo mucho menor que el obtenido del estudio realizado por el MOPU, el volumen de datos resultante

prácticamente ha duplicado la información inicial, poniendo de manifiesto la envergadura del problema de las inundaciones en Asturias.

2.2. ENCUESTAS

El principal problema que presenta el estudio de inundaciones históricas a partir de fuentes documentales consiste en que prácticamente en ningún caso se obtiene la superficie y envergadura alcanzada por la inundación, haciendo referencia casi exclusivamente a los daños provocados. Un estudio como el planteado en el presente trabajo, a escala 1:5000 de toda la región asturiana, requiere precisar no sólo el área inundada sino las características del evento.

Para alcanzar estos objetivos, en el presente proyecto se ha invertido un gran esfuerzo en la recopilación de datos sobre inundaciones históricas a partir de la realización de encuestas en las poblaciones ribereñas, especialmente numerosas en la región debido a la gran demanda que poseen los terrenos con topografía suave.

En total se invirtieron 75 jornadas de campo, se realizaron unas 700 encuestas y se elaboraron 2381 fichas, de las que sólo en el 15% consta el nombre del informante, prefiriendo el resto el anonimato. En algunos casos se aportaron fotografías de los eventos y algunos videos de inundaciones en puntos concretos. Cabe destacar que la reciente inundación que tuvo lugar en noviembre de 2003, durante la realización del presente trabajo, representa la avenida mejor documentada de todas las analizadas. Los datos históricos se encuentran repartidos en 382 hojas 1:5.000 y se pueden consultar a través del Visor de Inundaciones que acompaña al presente estudio.

Al objeto de reforzar la información obtenida mediante las encuestas, se ha realizado una recopilación de los datos de caudal y meteorológicos disponibles y correspondientes a las fechas de algunas de las inundaciones. De esta forma, no sólo se valida la fecha asignada al evento por el entrevistado, sino que es posible establecer una primera jerarquización de la importancia de cada uno y acercarnos al umbral de inundación y comportamiento hidráulico del río, información de gran utilidad de cara al análisis geomorfológico de las llanuras.

Los límites de la superficie ocupada por una determinada inundación, obtenidos mediante las encuestas, fueron restituidos sobre los mapas topográficos 1:5000 utilizados en el presente estudio. Esta información es almacenada en formato papel de cara a su utilización en el análisis geomorfológico (Figura 11), y posteriormente se archiva en una base de datos Access, donde la descripción

del evento se recoge en fichas, cada una referida a porciones de llanura concretas distribuidas a lo largo de la red fluvial.

Destacar finalmente que el volumen de información obtenido mediante este método puede incrementarse notablemente aumentando el número de encuestas por población e insistiendo en aquellas zonas en las que en el momento de la visita de campo, no se localizó personal suficiente para obtener información apropiada.

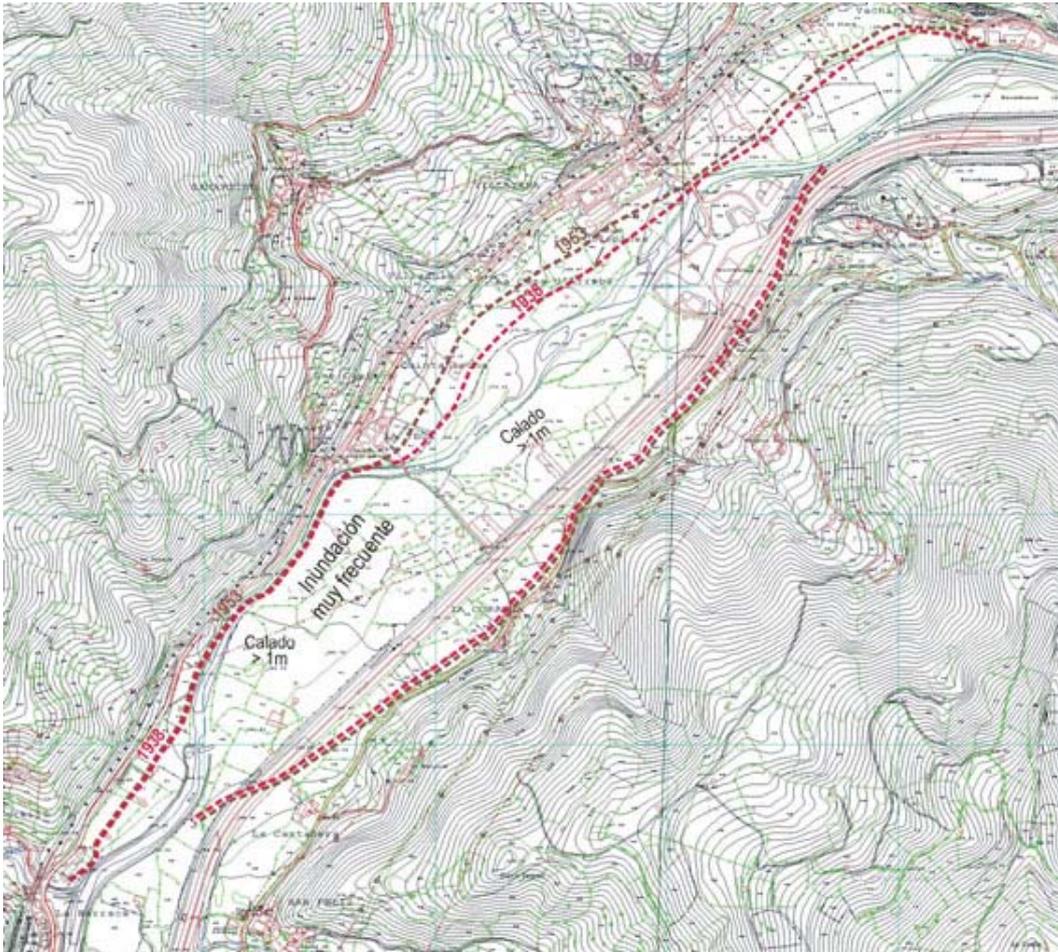


Figura 11. Aspecto de la cartografía de las inundaciones históricas realizada en formato papel (Río Pisuerga, Cuenca del Narcea).

2.2.1. VALIDACIÓN. CAUDAL Y PRECIPITACIONES

El periodo de tiempo abarcado por las encuestas realizadas es, en el mejor de los casos, de hasta 85 años. Al objeto de precisar y validar la fecha del evento aportada por el entrevistado se han utilizado, en los casos en que ha sido posible, los datos de caudal y precipitaciones de las estaciones más próximas.

2.2.1.a. Datos de Caudal

Los datos de caudal de las estaciones foronómicas fueron proporcionados por la Confederación Hidrográfica del Norte. La información incluida en la base de datos corresponde a los caudales medios diarios y a los caudales instantáneos, en este último caso, el máximo registrado en el mes. Esta información permite precisar el día en que tuvieron lugar algunos de los eventos descritos en las encuestas, en ocasiones dudosos (Figura 12).

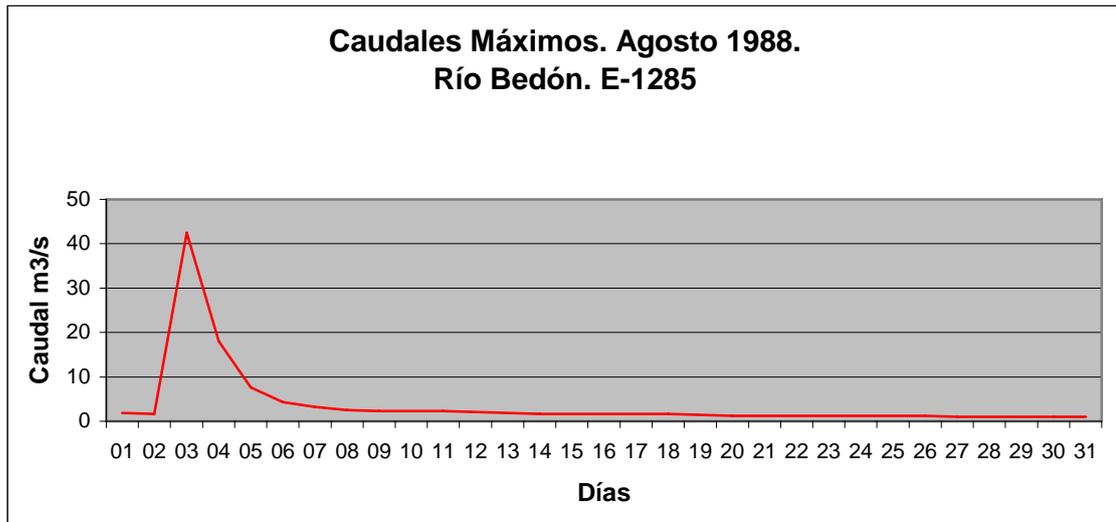


Figura 12. La inundación de agosto de 1988 tuvo lugar el día 3, como lo corrobora la gráfica de caudales máximos diarios de ese mes.

2.2.1.b. Datos Meteorológicos

La información meteorológica ha sido suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología, la cual posee una red de estaciones más numerosa que la foronómica, abarcando generalmente periodos de registro más amplios. Esta información ha sido utilizada, al igual que los datos de caudal, para corroborar y validar las fechas que aportaban algunos de los encuestados, sobre todo en aquellos ríos donde no existe estación de aforos o el periodo registrado por la misma es limitado.

3. RESULTADOS

Gran parte de la información obtenida de las encuestas se concentra dentro del periodo comprendido entre los años 1918 y 2004. La distribución de estas inundaciones por cuencas hidrográficas y municipios se muestra en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente.

CUENCA	Nº HOJAS 1:5000	INUNDACIONES HISTÓRICAS
Agüeria	0	---
Alto Nalón	4	1938, 1980, 1993
Alto Narcea	40	1500, 1931, 1932, 1935, 1938, 1939, 1953, 1959, 1960, 1965, 1980, 1988, 1995, 2000, 2001
Alto Navia	0	---
Alto Sella	10	1938, 1983, 2003, 2004
Bajo Nalón	40	1918, 1938, 1941, 1953, 1959, 1963, 1967, 1977, 1980, 1983, 1988, 1992, 1993, 1994, 2000, 2003
Bajo Navia	9	1959, 1995
Bajo Sella	9	1938, 1975, 1983, 1993, 2003
Cares Casaño	15	1938, 1953, 1982, 2003
Caudal	33	1918, 1926, 1938, 1941, 1953, 1959, 1964, 1967, 1975, 1976, 1977, 1980, 1988, 1992, 1993, 1996, 2000, 2003
Costa C. Occidental	7	1941, 1993, 2000, 2001, 2003
Costa Central	9	1999, 2003
Costa Centro-Oriental	31	1938, 1943, 1952, 1953, 1959, 1968, 1983, 1986, 1988, 1992, 1993, 1996, 2002, 2003
Costa Oriental	17	1938, 1983, 1988, 2003
Cubia	3	1918, 1921, 1953, 1966
Eo	9	1938, 1953, 1969, 1995, 1998, 2003
Esva	11	1941, 1959, 1983, 1996, 2003
Güeña	7	1983
Ibias	11	1939, 1959, 1977, 1980, 2001
Medio Nalón	23	1676, 1928, 1938, 1953, 1959, 1973, 1976, 1977, 1980, 1982, 1992, 1993, 2003
Medio-Bajo Narcea	22	1921, 1935, 1936, 1945, 1953, 1959, 1961, 1966, 1978, 1980, 1993, 1996,

CUENCA	Nº HOJAS 1:5000	INUNDACIONES HISTÓRICAS
		1998, 2000, 2003
Negro y Costeros	3	1941, 1959, 1983, 1993, 2003
Nora	21	1959, 1977, 1993, 2000, 2003, 2004
Pigüeña	9	1935, 1959, 1980
Piloña	15	1938, 1953, 1975, 1983, 1992, 1993, 2003
Porcia y costeros	6	1969, 2003
Trubia	18	1521, 1918, 1932, 1938, 1953, 1970, 1977, 1980, 1988, 1993, 2001, 2003

Tabla 3. Inundaciones históricas registradas por cuencas hidrográficas.

MUNICIPIO	Nº DE REGISTROS	AÑOS EVENTOS
Allande	39	1938, 1953, 1959, 1995
Aller	58	1918, 1926, 1938, 1953, 1967, 1976, 1980, 1993, 1996, 2003
Amieva	15	1938, 2004
Avilés	2	2003
Belmonte de M.	52	1935, 1959, 1961, 1980, 1996
Bimenes	2	1983
Cabrales	14	1938, 1953, 2003
Candamo	45	1918, 1938, 1953, 1959, 1980, 1993, 2003
Cangas del Narcea	228	1500, 1931, 1932, 1935, 1939, 1953, 1959, 1960, 1965, 1980, 1988, 2000, 2001
Cangas de Onís	78	1938, 1983, 1993, 2003, 2004
Caso	1	1980
Castrillón	29	1999, 2003
Coaña	27	1959, 1995
Colunga	176	1943, 1952, 1983, 1988, 2003
Cudillero	52	1941, 1993, 2000, 2001, 2003
Degaña	68	1939, 1959, 1969, 1980
Franco (El)	50	1969, 2003
Grado	37	1918, 1921, 1938, 1953, 1966, 1967, 1977, 1980, 1988, 1993, 2003
Ibias	56	1959, 1977, 1980, 2001
Langreo	12	1928, 1959, 1992, 2003
Laviana	22	1938, 1959, 1980, 1993
Lena	21	1938, 1953, 1964, 1975, 1992, 2000
Valdés	146	1941, 1953, 1959, 1983, 1996, 2003
Llanera	8	1959, 2003
Llanes	89	1938, 1983, 1988, 2003
Mieres	20	1926, 1938, 1953, 1959, 1964, 1977, 1980, 1988, 1993
Morcín	15	1918, 1938, 1953, 1959, 1964, 1988
Navia	20	1959, 1995
Noreña	27	1993, 2003
Onís	17	1983
Oviedo	75	1918, 1938, 1959, 1967, 1976, 1977, 1980, 1982, 1993, 2000, 2001, 2003
Parres	43	1938, 1953, 1975, 1983, 1993, 2003
Peñamellera Alta	5	1938, 1982, 2003
Peñamellera Baja	35	1938, 1982, 2003
Piloña	44	1938, 1953, 1992, 1993, 2003
Ponga	10	1938, 1983

MUNICIPIO	Nº DE REGISTROS	AÑOS EVENTOS
Pravia	154	1941, 1953, 1959, 1977, 1980, 1983, 1993, 1994, 2000, 2003
Proaza	13	1918, 1953
Quirós	28	1918, 1932, 1977, 1980, 1988
Regueras (Las)	2	1980, 1993
Ribadedeva	42	1938, 1980, 1982, 1983, 1993, 2003
Ribadesella	30	1938, 1975, 1988, 993, 2003
Ribera de Arriba	15	1918, 1938, 1953, 1959, 1992, 1993
Salas	112	1935, 1941, 1959, 1961, 1966, 1978, 1980, 1983, 1993, 1994, 1998, 2003
S. M. del Rey Aurelio	11	1938, 1953, 1959, 1976
San Tirso de Abres	11	1938, 1953, 1977, 1995, 1998
Santo Adriano	7	1938, 1953, 1977
Siero	121	1977, 1993, 2000, 2003, 2004
Sobrescobio	3	1938, 1980, 1993
Soto del Barco	6	1953, 1980, 2003
Tapia de Casariego	16	1969, 2003
Teverga	14	1953, 1970, 1977, 1993, 2003
Tineo	15	1936, 1959, 1980, 1993, 2000, 2003
Vegadeo	40	1953, 1969, 1995, 1998, 2003
Villaviciosa	99	1953, 1959, 1968, 1983, 1986, 1992, 1993, 1996, 2002, 2003
Villalón	3	1959, 1995

Tabla 4. Inundaciones históricas registradas por municipios y número de fichas.

La inundación más antigua es la correspondiente al año 1918, cuya referencia suele obtenerse a partir de testimonios de antecesores. De forma similar ocurre con la inundación del 8 de septiembre de 1938, conocida como la “riaona”, conservada en la memoria colectiva por ser una de las más grandes que se recuerda.

Otra de las fechas más repetidas a lo largo de las diferentes cuencas hidrográficas es la de diciembre de 1959, coincidiendo todos los encuestados en que se produjo en dos episodios, uno el 11 de diciembre y otro el 26 del mismo mes. Posteriormente, destacan las ocurridas en los años 1980, 1983 y 1993, avaladas con los datos de caudal, precipitaciones y los obtenidos de la hemeroteca.

Ocasionalmente encontramos datos sobre inundaciones que tuvieron lugar de forma muy local, ligadas en la mayoría de los casos a precipitaciones de tipo convectivo, con duraciones cortas pero intensidades muy altas y concentradas en pequeñas superficies. En este sentido destacan varias inundaciones que tuvieron lugar en el año 1988, en el que se produjeron tres eventos diferentes repartidos en puntos concretos de la región. En Abril se produjeron en los ríos Coto (Alto Narcea), Trubia y Quirós, en junio en el río Sama (Bajo Nalón) y Morcín (Caudal) y en agosto en los ríos Bedón y Nueva.

La inundación mejor registrada y aparentemente más repartida en Asturias es la del 16 noviembre del 2003, la cual tuvo lugar durante la realización del presente estudio, facilitando notablemente la obtención de información.

3.1. DAÑOS HISTÓRICOS

Los daños recopilados sobre inundaciones históricas constituyen una primera aproximación al impacto que este fenómeno ha tenido en Asturias. Si tuviéramos en cuenta exclusivamente las inundaciones obtenidas en fuentes documentales, el resultado apuntaría equivocadamente a que las inundaciones se producen principalmente en zonas urbanas. Sin embargo, y como ya se ha mencionado, este resultado estaría inducido porque solamente se documentan aquellas inundaciones que provocaron algún impacto socioeconómico, dejando infravaloradas las que afecta a terrenos sin usos significativos. Por estos motivos, a la hora de mostrar los daños provocados por las inundaciones, se han tenido en cuenta la información obtenida a partir de las encuestas, en la cual se considera cualquier tipo de usos del suelo. Atendiendo al número de registros que posee un determinado daño en cada cuenca hidrográfica se ha elaborado la Tabla 5.

Las encuestas evidencian que las inundaciones afectan mayoritariamente a los usos agropecuarios (pastos, plantaciones, bosques, agricultura, etc.), en una proporción muy por encima de las afecciones a las zonas con edificaciones e infraestructuras. En cualquier caso, también se pone de manifiesto el elevado riesgo al que se encuentran sometidos los bienes y personas en la región asturiana. Si bien el número de fallecidos mencionado en las encuestas es reducido, 766 fichas históricas recogen la afección a la que se encuentran sometidas numerosas zonas urbanas y edificaciones y 387 aluden a carreteras, puentes y ferrocarriles afectados.

CUENCA	Fallecidos	Heridos	Desplazados	Camping	Suelo urbano	Edificaciones	Otros	Carreteras	Puentes	FFCC	Otras vías	Canalizaciones	Suelo industrial	Energía	Suelo agropecuario	Otros
CARES-CASAÑO					1	23	4	12	3		9		1		63	
CAUDAL	3	1	3		23	36	4	20	10	11	3		1		106	3
COSTA CENTRAL					2	12	1	7	1						31	
COSTA CENTRO OCCIDENTAL				4		11		7	1		4				52	
COSTA CENTRO-ORIENTAL				4		84	3	32	13		11				288	
COSTA ORIENTAL					3	23		9	3		4				117	2
CUBIA	1				2	3	1		1		1				6	
EO					6	16	1	3	1		3				49	
ESVA						28	1	6	2		19		3		107	2
GÜEÑA				1	3	24		8	5		3		2		43	
IBIAS					1	7		1	2		2				122	
NALON ALTO									2						3	
NALON BAJO	1		3		10	58	1	52	6	2	25		17		273	
NALON MEDIO			4		14	37	3	10	4	1	2				57	
NARCEA ALTO	1	1			6	33		6	12		8		1		260	
NARCEA MEDIO					2	52		18	4		34		1		100	
NAVIA BAJO					2	7		5			10		2		48	
NEGRO y COSTEROS					4	13	1	10					2		37	
NORA						96	14	36		6	15		9		190	
PIGÜEÑA					6	17		1			9	1	1		33	
PILOÑA						14	1	6	3		2		2		64	
PORCIA y COSTEROS						10		11	1		1				62	4
SELLA ALTO						11		2	3						31	
SELLA BAJO			2		2	29	2	17	1	1	5		3		71	
TRUBIA					5	30	1	4	2		2			1	72	
Totales	6	2	12	9	92	674	38	283	80	21	172	1	45	1	2285	11

Tabla 5. Daños registrados en las fichas relativas a inundaciones históricas, distribuidos por cuencas hidrográficas.

3.2. EJEMPLO: EL CASO DEL RÍO BEDÓN

A continuación se analiza someramente los datos de caudal registrados en la estación de aforo 1285 situada en el río Bedón, y se comparan los resultados con las inundaciones históricas registradas en el mismo, tanto las obtenidas de fuentes documentales como a partir de las encuestas. Esta comparación nos permite determinar a grandes rasgos, cual es la validez de los datos históricos recopilados, cuales son las posibles carencias y problemas que puede tener el método y, finalmente, cuales son las posibilidades de explotación que poseen estos datos, sobre todo a la hora de jerarquizar avenidas bien documentadas en las encuestas pero que carecen de datos de caudal en las estaciones de aforo.

Primeramente se ha calculado el Caudal de Máxima Crecida Ordinaria (CMCO), seleccionando una serie consecutiva de 10 años y dejando fuera los valores más extremos, al objeto de acercarse mejor al comportamiento hidráulico de la corriente. Destacar que a pesar de que existen varios métodos de cálculo de este caudal, el objetivo que se persigue a continuación no es determinar cual es el CMCO más apropiado para el río Bedón, sino obtener un valor aproximado que nos permita ver si se manifiesta alguna relación con los caudales correspondientes a las inundaciones históricas recopiladas en este estudio.

Al comparar los caudales instantáneos registrados en la estación de aforo con las inundaciones históricas identificadas en la cuenca hidrográfica, se observa que de los 7 años que el CMCO determinado para este estudio ($86 \text{ m}^3/\text{s}$) es sobrepasado de forma notable, existen datos de inundaciones históricas en 5 de ellos (Figura 13, Tabla 6).

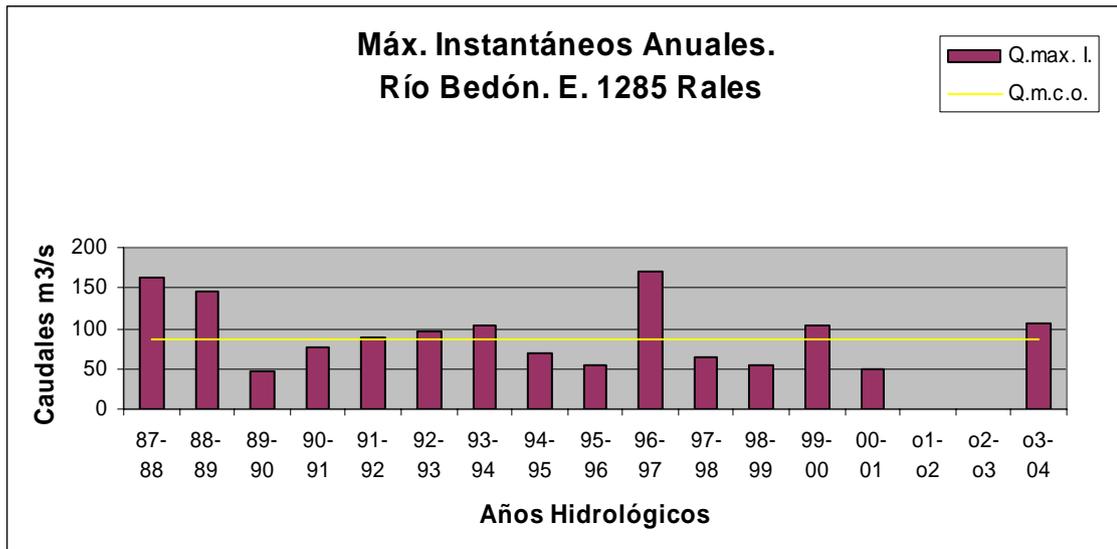


Figura 13. Caudales Instantáneos para el río Bedón. La línea amarilla representa el caudal de la Máxima Crecida Ordinaria.

Concretamente, en los años 1988, 1989, 1992 y 1993 se han registrado inundaciones según los datos de las fuentes documentales, y en el año 2003 según las encuestas. Previamente al año 1987, periodo del que no existen registros en la estación de aforo, las encuestas destacan la inundación ocurrida en el año 1983.

Con la información recogida en las encuestas sobre las inundaciones de 2003 y 1983 es posible establecer una estimación cualitativa sobre la importancia de cada una de estas dos inundaciones. Las encuestas apuntan que los valores medios de ocupación de las inundaciones de 2003 y 1983 han sido del 40% y 63% respectivamente. Este hecho evidenciaría que el caudal alcanzado por la avenida de 1983 debió de ser superior al valor de 107 m³/s que alcanzó la avenida del 2003.

Por otra parte, si la avenida de 2003 inundó un 40% de las llanuras aluviales presentes en la cuenca hidrográfica del río Bedón, con un caudal de 107 m³/s, las inundaciones de los años 1988 y 1989, registradas en las fuentes documentales y de las que no se posee cartografía histórica, posiblemente afectarían a una superficie mucho mayor si tenemos en cuenta los caudales instantáneos que presentaron, 162 y 145 m³/s respectivamente.

CAUDALES INSTANTÁNEOS MÁXIMOS MENSUALES													
Estación-1285: Río Bedón, Cuenca 1000													
Años	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Anual
87-88	34	54	8	21	19	18	99	3	7	10	162	7	162
88-89	3	3	9	10	11	21	145	7	2	sd	sd	sd	145
89-90	sd	3	sd	16	sd	18	46	6	20	sd	sd	sd	46
90-91	18	29	66	9	12	77	27	37	2	sd	sd	30	77
91-92	18	72	3	sd	sd	35	89	22	29	4	13	21	<i>89</i>
92-93	96	22	63	sd	sd	21	67	17	13	12	73	14	<i>96</i>
93-94	32	9	103	26	3	8	33	3	sd	sd	9	103	<i>103</i>
94-95	55	17	47	70	23	36	3	31	1	5	1	24	<i>70</i>
95-96	1	19	55	5	26	15	35	22	2	40	32	14	<i>55</i>
96-97	24	68	170	78	2	1	0,7	7	21	12	27	24	<i>170</i>
97-98	43	42	65	18	18	20	46	64	3	1	15	12	<i>65</i>
98-99	55	26	25	17	41	30	16	15	2	2	1	35	<i>55</i>
99-00	sd	48	29	23	16	20	105	1	2	1	1	2	<i>105</i>
00-01	21	19	36	49	25	21	16	17	11	2	1	43	<i>49</i>
01-02	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
02-03	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd	sd
03-04	sd	107	sd	sd	sd	sd	sd						<i>107</i>

Tabla 6. Caudales máximos instantáneos registrados en el río Bedón. En negrita se muestran los máximos anuales y con un sombreado los ligados a inundaciones históricas. En cursiva se muestran la serie de 10 años utilizada para estimar el Caudal de la Máxima Crecida Ordinaria.

Para el río Bedón, al igual que se ha hecho con los datos de caudal, se han analizado los valores de precipitación correspondientes a las inundaciones históricas registradas en este estudio, observándose de nuevo una buena correlación. De esta forma se observa que la avenida del año 1983, que afectó a un 63% de las llanuras aluviales mencionadas en las encuestas, presentó valores de precipitación máxima diaria y acumulada del mes de 60 y 192 l/m² respectivamente, frente a la del año 2003, con valores de 39 y 172 l/m² y solo un 40% de superficie aluvial afectada. Cabría esperar que las avenidas de 1988, 1989 y 1996 en este río, con valores de caudal y precipitaciones muy superiores, alcanzaran una envergadura mayor. Sin embargo, ninguno de los entrevistados en esta cuenca aportó información de estos eventos.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Comisión Técnica de Inundaciones (1985). *Cuenca del Norte de España. Estudio de inundaciones históricas y Mapa de Riesgos Potenciales*. Comisión Nacional de Protección Civil.
- Comisión Técnica de Inundaciones (1985). *Cuenca del Norte de España. Acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por las inundaciones*. Dirección General de Obras Hidráulicas. Comisión Nacional de Protección Civil.
- INDUROT (1994). *Plan de Recuperación y Protección de los Cursos Fluviales*. Estudio del Medio Físico. Consejería de Medio Ambiente. Principado de Asturias. Informe inédito.
- INDUROT (2001). *Cartografía de los Riesgos Naturales en Asturias*. Consejería de Infraestructuras y Política Territorial. Principado de Asturias. Informe inédito.
- Marquínez García, J.; Menéndez Duarte, R.; Fernández Lastra, J.; Fernández Iglesias, E.; Jiménez-Alfaro, B.; Wozniak, E.; Fernández Menéndez, S.; González Rocas, J., García, P.; Álvarez García, M. A.; Lobo, T.; Adrados, L. (2003). *Riesgos Naturales en Asturias*. KRK Ediciones, Oviedo. 133 pp.

III. PELIGROSIDAD: ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE LLANURAS ALUVIALES

1. INTRODUCCIÓN

La geomorfología es la rama geológica que estudia los procesos que intervienen en el modelado del relieve: dinámica marina, eólica, fluvial, dinámica de laderas, procesos edáficos, actividad humana, etc. Entre sus objetivos se encuentra la búsqueda de soluciones a determinados problemas que surgen por el uso del territorio, como ocurre con el riesgo asociado a las inundaciones.

La dinámica a la que está sometida la superficie terrestre da lugar a un modelado del relieve caracterizado por la presencia de formas erosivas, provocadas por el desmantelamiento del relieve preexistente, y otras deposicionales, formadas por la acumulación sobre la superficie del material previamente erosionado. A partir del análisis de estas formas y sedimentos es posible deducir cuales son los procesos que actúan y han actuado recientemente en la superficie terrestre y predecir posibles comportamientos futuros.

Determinadas evidencias geomorfológicas presentes en los medios aluviales, estuarinos y torrenciales reflejan procesos relacionados con avenidas fluviales, avenidas relámpago e inundaciones marinas que han actuado en el pasado reciente y que, por consiguiente, pueden volver a actuar. Dichos indicadores también están relacionados con la recurrencia e importancia de los eventos, lo que permite la delimitación de unidades atendiendo a la actividad a la que están sometidas por un determinado fenómeno. Por estos motivos, numerosos investigadores destacan la efectividad del análisis geomorfológico en el estudio de las inundaciones (Corominas y Alonso, 1990; Soria et al., 1990; Blair y McPherson, 1994; Benito, 1997; Martínez y Garzón, 1996; Freixes, et al., 2002; Marquínez et al.; 2003; López y Gutiérrez, 1983), capaz de separar diferentes zonas atendiendo a la actividad a la que se encuentran sometidas.

En países experimentados en la lucha contra las inundaciones, como el caso de los Estados Unidos, los criterios geomorfológicos se imponen a la hora de realizar una adecuada zonificación del territorio. Esto es debido a que este análisis permite obtener un conocimiento más realista del sistema natural

(Wolman, 1971), esencial para la determinación de los riesgos de inundación y, consecuentemente, para la planificación tanto a nivel regional como para actuaciones locales.

Lógicamente, la dinámica marina no es comparable a la fluvial, ni éstas a las avenidas relámpago de los sistemas torrenciales. La actuación de cada uno de estos procesos da como resultado morfologías particulares ligadas a dinámicas diferentes, lo que obliga a diseñar metodologías de análisis específicas. En cualquier caso, cuando se produce una inundación, las aguas y los sedimentos ocupan total o parcialmente los terrenos adyacentes. Cuanto más frecuente es la inundación de una zona, las evidencias geomorfológicas son más numerosas y aparecen más marcadas, mientras que estas morfologías se suavizan a medida que disminuye la frecuencia de inundación. En líneas generales, esta es la filosofía que rige el método geomorfológico a la hora de separar zonas con diferentes comportamientos dinámicos a lo largo de los diferentes medios analizados.

Para referirse a los episodios de inundación, generalmente se utiliza el término de caudal extraordinario, el cual representa, como su propio nombre indica, un caudal no habitual ligado a una frecuencia temporal, motivo por el cual en hidrología se utiliza el concepto de caudal correspondiente a un determinado período de retorno “T”. A partir del análisis geomorfológico es posible zonificar las llanuras aluviales teniendo en cuenta la frecuencia de presentación de las aguas de avenida en el lugar, es decir, la peligrosidad atendiendo a la probabilidad de ocurrencia de una inundación. Este es el enfoque que algunos países de la Unión Europea, como Francia e Inglaterra están utilizando para zonificar los riesgos de inundación, es decir, cuantificar la peligrosidad en términos de frecuencia de inundación.

Aunque el calado o altura del agua sobre el terreno e incluso la velocidad son factores que definirían con mayor precisión la peligrosidad a la que está sometida una zona, los estudios de ámbito regional, como el que se aborda en Asturias, no incluyen esta información debido a la complejidad de su análisis.

Adicionalmente hay que tener en cuenta que la geometría natural de los espacios inundables se ha visto modificada continuamente por edificaciones, escombreras, cultivos e infraestructuras viarias. Por estos motivos, el análisis de zonas inundables desde el punto de vista geomorfológico tiene en cuenta la distorsión derivada de la intervención antrópica. La continua alteración de las condiciones originales puede traer como consecuencia la modificación del patrón espacial del riesgo, reduciendo las inundaciones o provocando el anegamiento de áreas que no se inundarían ante condiciones naturales.

La metodología llevada a cabo en el análisis geomorfológico de las llanuras aluviales, así como los indicadores que se han tenido en cuenta para realizar la zonificación de la peligrosidad, se describen en los capítulos siguientes.

Uno de los objetivos perseguidos en el presente estudio es delimitar el área potencialmente inundable mediante criterios geomorfológicos, al objeto de realizar una predicción espacial del fenómeno de las inundaciones. En Asturias, las zonas con mayor probabilidad de sufrir inundaciones se concentran mayoritariamente en las llanuras aluviales y sistemas torrenciales. En el presente capítulo se aborda la metodología seguida para identificar las zonas dentro de las llanuras aluviales que pueden verse afectadas por las siguientes tipologías de inundaciones:

- Inundaciones ligadas a desbordamientos de cauces
- Inundaciones ligadas a acciones marinas
- Inundaciones por deficiencias de drenaje
- Inundaciones por obstrucción de cauces

Aunque el esfuerzo invertido en el presente trabajo se centra en el análisis de las inundaciones ligadas a los desbordamientos de cauces fluviales, también se realiza una predicción espacial de cuales son los terrenos aluviales que pueden verse afectados por inundaciones ligadas a la dinámica marina y a las deficiencias de drenaje.

En el caso de las inundaciones ligadas a la obstrucción de cauces no se identifica cuales son los terrenos susceptibles de verse afectados por este tipo de inundaciones, sino que se identifican *Puntos Conflictivos*, es decir, zonas en la red fluvial que son susceptibles de sufrir o provocar la obstrucción parcial o total de la corriente durante una avenida.

En la delimitación de las zonas potencialmente inundables por los desbordamientos fluviales se asignan categorías de peligrosidad atendiendo a la frecuencia con que se producen inundaciones. En este caso no sólo se pretende

realizar una predicción espacial sino también una aproximación temporal, distinguiendo las siguientes categorías:

ZONAS POTENCIALMENTE INUNDABLES

Inundación muy frecuente

Inundación frecuente

Inundación ocasional

Inundación excepcional

ZONAS DESLIGADAS DE LA DINÁMICA FLUVIAL

Llanuras aluviales rellenadas

Llanuras aluviales aisladas

Para llevar a cabo este análisis de peligrosidad se han seguido las siguientes fases metodológicas:

- Selección de las llanuras aluviales
- Trabajo de campo
- Restitución e integración de la información

2.1. SELECCIÓN DE LLANURAS ALUVIALES – FOTOGRAFÍA AÉREA

Debido a la envergadura del presente trabajo, resulta necesario establecer unos criterios de selección de los tramos a analizar.

En una primera fase de estudio se han seleccionado las principales llanuras aluviales presentes en la región asturiana. Dicha selección se ha realizado teniendo en cuenta unas dimensiones mínimas de la llanura aluvial, que aproximadamente oscilan entre 50 y 100 m de anchura. No obstante, también se han descartado algunas llanuras que aunque poseen estas dimensiones, carecen de elementos con vulnerabilidad significativa, están ubicadas en áreas de montaña o poseen difícil acceso.

Dicha selección ha partido de las llanuras aluviales identificadas en la Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias, elaborada por el INDUROT. Debido a que la escala de dicha cartografía es 1:25.000, fue necesario completar el análisis mediante interpretación del relieve a partir de los mapas topográficos 1:5000 y de las fotografías aéreas más recientes disponibles, correspondientes a los vuelos realizados por el Principado de Asturias en los años 1994-95 y 2003, de escalas 1:18.000 y 1:15.000 respectivamente.

2.2. TRABAJO DE CAMPO

Una vez seleccionadas las llanuras aluviales y estuarinas objeto del estudio, se abordó un importante trabajo de campo en las mismas, realizando una toma de datos *in situ* al objeto de identificar diferentes evidencias geomorfológicas presentes en el cauce y márgenes.

El personal dedicado a la toma de datos está formado por 4 geólogos, habiendo invertido un total de 225 jornadas de campo. Destacar que en términos generales, el esfuerzo invertido en zonas urbanas es muy superior al realizado en zonas naturales.

2.3. RESTITUCIÓN E INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos recogidos en campo son interpretados en gabinete, donde se analizan las evidencias geomorfológicas identificadas. A partir de estas evidencias se buscan las zonas más susceptibles al desbordamiento y su relación con las evidencias, se consideran las alteraciones provocadas por determinadas actividades humanas y las características y posible incidencia en el comportamiento de la corriente de los tramos fluviales situados aguas arriba y abajo de la zona analizada.

Adicionalmente, la información histórica recopilada es utilizada para validar y contrarrestar los resultados geomorfológicos. Por un lado, se compara la superficie ocupada por una determinada inundación con las unidades delimitadas con evidencias geomorfológicas. El dato histórico permite asimilar un periodo de retorno mínimo para la llanura analizada. A continuación se identifica cual es la zona más favorable al desbordamiento, es decir, aquel sector de la margen a partir del cual la inundación progresa a lo largo de la llanura, así como la altura que presenta con respecto al lecho del cauce, obtenida durante el trabajo de campo. A su vez, estos datos de altura son contrastados con la información obtenida de algunas estaciones de aforo y relativa a la altura alcanzada por caudales con un determinado periodo de retorno.

Esta labor permite asumir que, en otros tramos fluviales adyacentes con secciones de cauce y superficies aluviales comparables al analizado, la

probabilidad a sufrir una inundación es la misma. A medida que se avanza en el análisis de una determinada cuenca, se obtienen nuevas llanuras de referencia con nuevos datos históricos que permiten aumentar la precisión a la hora de asignar periodos de retorno a las unidades delimitadas con criterios geomorfológicos.

Cuando se completa el trabajo de campo de una determinada cuenca o subcuenca, se realiza un análisis a mayor escala de todas las llanuras. El objetivo es comprobar que los criterios utilizados a la hora de separar zonas con diferente peligrosidad han seguido las mismas pautas a lo largo de toda la cuenca, teniendo siempre en cuenta no sólo las variaciones locales típicas de estos medios sino también las que se producen a medida que descendemos hacia los tramos más bajos de la red fluvial, la incidencia de las mareas y confluencias con otros ríos, etc.

Finalmente, el conjunto de información es utilizada para separar las distintas categorías que constituyen el mapa de peligrosidad: zonas con inundación muy frecuente, frecuente, ocasional y excepcional.

3. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

3.1. INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS

3.1.1. EL CANAL PRINCIPAL

Para realizar el análisis de las inundaciones se parte de delimitación de los embalses y de la red fluvial asturiana, representando el conjunto la zona inundable de mayor riesgo. En numerosos casos, esta red fluvial aparece representada en la topografía como una línea en vez de un polígono y, cuando aparece este último, suele coincidir con el canal de aguas bajas. Al objeto de mejorar la visualización del canal principal en los tramos analizados, se ha llevado a cabo una delimitación del cauce ligeramente superior a la que aparece representada en base topográfica, actualizando su trazado cuando se ha detectado un cambio importante en el mismo.



Figura 14. Meandro del Sablón en el río Nalón, próximo a la desembocadura en San Juan de la Arena.

3.1.2. LA LLANURA ALUVIAL

El siguiente paso es delimitar la envolvente del espacio inundable natural o área de influencia del río mediante la cartografía de las llanuras fluviales (Figura 15). Estas llanuras son espacios inundables representadas por superficies casi planas, ubicadas entorno a un cauce, que han sido construidas por el río para que absorban el exceso de caudal y sedimentos en las crecidas. Son por tanto, franjas de terreno sujetas a inundaciones periódicas y a una dinámica geomorfológica extraordinariamente activa (Roselló, 1989).



Figura 15. Llanuras aluviales ligadas a la confluencia del río Cuvia y el Nalón a su paso por las proximidades de Grao.

Generalmente, en la región asturiana los límites de las llanuras aluviales son fácilmente identificables gracias a que el contacto con la ladera suele producirse de forma brusca. Cabe destacar que durante avenidas, el nivel de las aguas puede ascender varios metros de altura por las laderas que limitan la llanura (Figura 16). Ocasionalmente, cuando la llanura aluvial está labrada sobre materiales del sustrato blandos o depósitos cuaternarios, estos límites pueden ser más graduales (Figura 16), sobre todo en la Cuenca Mesozoico-terciaria.



Figura 16. A la izquierda contacto neto de la llanura aluvial con el inicio de la ladera, donde se observa en tonos más claros el alcance de la última avenida (Río Narcea). A la derecha contacto gradual ladera-llanura aluvial en Soto de los Infantes (Río Narcea).

3.1.3. EVIDENCIAS GEOMORFOLÓGICAS EN LA LLANURA

La llanura aluvial representa el terreno potencialmente inundable, si bien, en función de sus características, la frecuencia y severidad de las inundaciones puede ser muy variable a lo largo de la misma. Para poder delimitar zonas en la llanura atendiendo a la actividad fluvial a la que están sometidas, se utilizan fundamentalmente indicadores geomorfológicos. En este sentido, la inundación que afectó a gran parte de los ríos asturianos el 17 de noviembre de 2003 dejó numerosas huellas a lo largo de grandes extensiones aluviales que han facilitado, en numerosas cuencas, la separación de las unidades más activas.

Los indicadores geomorfológicos utilizados en el análisis se han agrupado en dos categorías: formas erosivas y formas deposicionales (Díez, 2002).

3.1.3.a. Formas erosivas

Las formas erosivas están representadas por escarpes, cambios de pendiente bruscos o graduales de variada envergadura que separan terrenos ubicados a diferente altura con respecto al cauce principal y, en consecuencia, sometidos a diferentes frecuencias de inundación. Por estos motivos, la cartografía de sus trazados y la altura del desnivel asociado han tenido especial relevancia en el presente estudio (Figura 17).

Estos escarpes aparecen en diferentes ámbitos dentro de las llanuras aluviales:

- Escarpes ligados al canal principal
- Escarpes ligados a canales secundarios
- Escarpes aislados dentro de la llanura

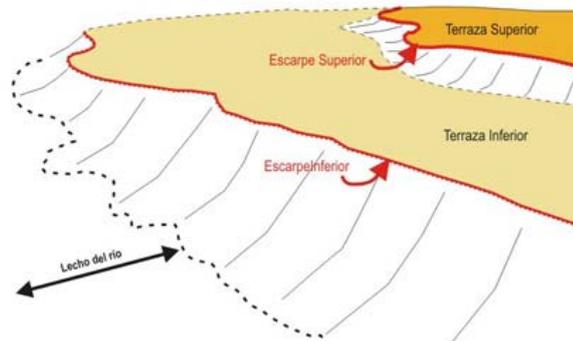


Figura 17. En la imagen se observan dos escarpes, uno ligado a la orilla del cauce y otro en el interior de la llanura, permitiendo separar distintos niveles de terraza ubicados a distinta altura respecto al lecho del río.

La altura de los **escarpes ligados al canal principal** con respecto al lecho varía en los diferentes ríos de la red fluvial (Figura 18) así como a lo largo de un mismo cauce, tendiendo hacia un aumento general de la altura a medida que se descende hacia los tramos bajos de la red fluvial. Sin embargo, no representa un parámetro constante sino que puede variar en recorridos cortos. Dentro de una misma vega, para anchuras del cauce comparables y trazados rectilíneos, cabe esperar que las orillas más bajas sean las más susceptibles al desbordamiento. Ante canales con trazado sinuoso, estas zonas más bajas suelen aparecer en la margen externa de los meandros. La susceptibilidad a inundarse que posee una determinada porción de llanura aluvial viene impuesta, entre otros factores, por las características que posee la orilla de menor altura, la cual representa la zona de entrada más favorable a la entrada de la inundación hacia el resto de la vega (Figura 19).



Figura 18. La altura de los escarpes ligados al canal principal varía a lo largo de los ríos asturianos. A la izquierda el río Pajares a su paso por Campomanes presenta orillas con desniveles en torno a 3 m de altura. A la derecha el escarpe en el río Aller presenta una altura inferior a medio metro.



Figura 19. Bustiello de Paredes en el río Esva, antes y después de la inundación de noviembre de 2003. En la imagen de la derecha se identifica la zona de entrada.

A la hora de asignar una determinada clase de peligrosidad a una porción de llanura identificada con criterios geomorfológicos se tiene en cuenta, además, cual es la altura que presenta el desnivel de la zona de entrada, cual es la categoría de peligrosidad que presenta la zona adyacente, cual es su posición respecto a las trayectorias preferentes de la corriente, la presencia de posibles desvíos de trayectoria dentro de la llanura que devuelvan las aguas hacia el cauce, etc.

Los **escarpes ligados a canales secundarios** se caracterizan generalmente por presentar una menor altura que los del canal principal. En función de la actividad erosiva o concentración de flujo a la que están sometidos, podemos encontrar escarpes netos en los casos más activos o escarpes más graduales, cuando la concentración de flujo es menor. También es frecuente que los canales secundarios estén bien definidos en las zonas de entrada mientras que, a medida que desciende aguas abajo, el canal y sus escarpes se atenúan. Esta morfología es indicativa de que en la zona de entrada existe una mayor concentración de flujo y mayor velocidad (Figura 20), mientras que aguas abajo, los escarpes van desapareciendo fundiéndose con la llanura (Figura 20), de tal forma que la corriente se expande por los terrenos adyacentes produciendo una inundación más laminar y con menor velocidad.

La altura que presenta la zona de entrada en el canal secundario, la presencia de depósitos recientes en su lecho, el tamaño de dichos sedimentos, la evolución de los escarpes hacia el interior de la vega, etc. son otros factores a tener en cuenta a la hora de asignar una determinada frecuencia de inundación a la unidad en la que aparece el canal.



Figura 20. Morfologías de canales secundarios, con escarpes marcados a la izquierda y más suaves a la derecha.

Los **escarpes aislados** representan cambios de pendiente dentro de la llanura. Pueden ser abruptos, separando mediante un escalón terrenos ubicados a diferentes alturas respecto al cauce (Figura 17), o graduales cuando la transición se produce de forma paulatina (Figura 21). Pueden ser naturales o artificiales (Figura 21) pero, en cualquier caso, son elementos que suelen separar zonas con diferente actividad fluvial. Destacar no obstante que la presencia de escarpes no implica necesariamente la separación entre las diferentes categorías de peligrosidad consideradas en este trabajo. Podemos encontrar varios escarpes dentro de una misma porción de llanura, pero las unidades que delimitan pueden compartir la misma zona de entrada de avenidas, o bien presentan una reducida diferencia de altura respecto al cauce que no permiten aplicarles distintas categorías de peligrosidad.



Figura 21. Escarpe artificial a la izquierda y cambio de pendiente gradual a la derecha, donde se puede ver un nivel de restos flotantes depositados durante una avenida reciente.

En ocasiones, debido a la gran capacidad erosiva de la corriente durante una avenida, se pueden producir rupturas transversales en las márgenes de los canales de tal forma que el río cambie de trazado o genere un canal secundario (Figura

22). Numerosas situaciones de este tipo tuvieron lugar en las inundaciones de noviembre de 2003, como la ocurrida en la vega de Luarca situada frente al campo de fútbol (Río Negro), en el Pontigón (río Esva), en el río Raíces a su paso por la localidad de El Cuadro (San Amaro) o en la vega situada aguas arriba de la piscifactoría del río Esva. Ante estas situaciones hay que destacar que se ha modificado el patrón de peligrosidad que presentaba la llanura aluvial afectada, ya que la erosión en la margen ha generado una nueva zona de entrada de avenidas, mucho más favorable al desbordamiento respecto a la situación anterior.



Figura 22. Formación de un canal secundario durante una avenida en la margen izquierda del río. La erosión inducida en la orilla es más favorable a los desbordamientos respecto a la situación previa.

3.1.3.b. Formas deposicionales

Aunque dentro del cauce ordinario son frecuentes las formas deposicionales (Figura 23), durante avenidas pueden alcanzarse determinados umbrales que al inundar la llanura son capaces de depositar sobre ella grandes volúmenes de material.



Figura 23. Barras sedimentarias de meandro y longitudinales en el río Navia.

Por un lado, los desbordamientos pueden hacer recrecer las márgenes del canal formando diques naturales, también denominados levées. Aunque estas formas son posteriormente fijadas por vegetación, otras crecidas pueden ocasionar su rotura, inundando las márgenes mediante lóbulos de derrame (Figura 24). Generalmente, los depósitos de avenida más gruesos se localizan en las inmediaciones del cauce, aumentando la proporción de finos a medida que nos alejamos de la zona de desbordamiento (Figura 22).



Figura 24. Barra de cantos y gravas en la fotografía superior y mantos y barra de arena en las imágenes inferiores, con desarrollo de ripples de corriente a la izquierda.

Una vez que la avenida descarga el material más grueso cerca del canal, las aguas se reparten por el resto de la llanura disminuyendo de velocidad y depositando los materiales más finos: arenas, limos y arcillas. Estos depósitos pueden estar representados por cordones arenosos, formando muchas veces barras longitudinales con presencia de microformas como ripples, o pueden aparecer mantos de decantación (Figura 24). En las zonas donde la corriente presenta menor velocidad se depositan bandas de restos flotantes, generalmente restos vegetales que dibujan trazados rectilíneos (Figura 21 y Figura 25).



Figura 25. Distribución de sedimentos ligados a la inundación de noviembre de 2003 en el río Arlós.

Cuando ha transcurrido un tiempo desde la formación de los depósitos, el conjunto es colonizado por vegetación, dando como resultado una superficie con morfología irregular de barras y surcos, que son vestigio de procesos sedimentarios y erosivos relacionados con una avenida pasada. Estas evidencias pueden presentarse con dimensiones variadas desde micro a macroescalas (Figura 26).



Figura 26. Topografía irregular en las márgenes de los ríos Nalón y Nonaya, a izquierda y derecha respectivamente.

3.1.4. OTROS INDICADORES

Además de los indicadores descritos anteriormente, en la dinámica fluvial participan otros factores que pueden actuar aumentando o reduciendo la frecuencia de inundación de las llanuras: trazados sinuosos, estrechamientos, y confluencias de cauces son los más destacables. En la cartografía realizada en el presente estudio se han identificado como puntos conflictivos solamente en aquellos casos en los que las consecuencias derivadas pueden afectar a determinados usos del suelo (edificaciones, infraestructuras viarias, etc.).

3.1.4.a. Trazados sinuosos

La morfología del cauce no se caracteriza por ser recto y prismático de forma natural, sino que frecuentemente presenta una sucesión de estrechamientos y ensanchamientos así como de curvas a derecha e izquierda, de tal forma que por suaves que sean, la erosión real en un río durante una crecida se acentúa en los estrechamientos y partes exteriores de las curvas (Martín, 2002). Estos tramos de cauce con trazados sinuosos y meandriiformes se caracterizan por concentrar las direcciones flujo en la margen externa de la curva, produciendo su erosión y sedimentando en la margen interna (Figura 23 y Figura 27).



Figura 27. Erosión acentuada en las zonas de meandro y desbordamientos favorables en la margen externa (Río Arlós). En ambos casos el río circula hacia la derecha.

Ante altas velocidades de flujo, cuando la corriente alcanza un cambio de trazado en el cauce, además de acentuar los procesos erosivos en la zona externa, las aguas sufren una sobre-elevación como consecuencia del freno provocado por el cambio brusco de trazado. La tendencia de las aguas con altas velocidades a seguir una trayectoria rectilínea favorece el desbordamiento a favor de las curvas externas de estos meandros. Estos criterios se han tenido en cuenta para identificar zonas favorables al desbordamiento o zonas de entrada, y en ocasiones han sido identificados en la cartografía realizada como punto conflictivo, dentro del tipo “desbordamiento favorable”.

3.1.4.b. Estrechamientos

Cuando los altos caudales de una avenida alcanzan un paso estrecho, esta disminución de sección lleva consigo una pérdida localizada de energía, produciéndose una sobre-elevación del nivel aguas arriba que puede favorecer la inundación de los terrenos adyacentes. Al mismo tiempo, los terrenos situados aguas abajo del estrechamiento reciben una onda de crecida sobre-elevada, de tal forma que la frecuencia de inundación de los mismos es mayor que la que posee otras veces con características similares. Estos pasos estrechos suelen aparecer en tramos encañonados en materiales resistentes, generalmente cuarcitas y calizas.

Este fenómeno se pone de manifiesto en numerosos puntos de la región. Las vegas del río Esva en las inmediaciones de Bustiello de Paredes se encuentran aguas arriba de un tramo de cauce encañonado. Durante la avenida de noviembre de 2003 las aguas sufrieron una elevación en la zona de entrada hacia el tramo estrecho, con la consiguiente disminución de energía, favoreciendo el depósito de una gran cantidad de material que alcanzó una potencia de hasta 2 m de altura. Otro ejemplo lo representa la localidad de Posada en la cuenca del medio Narcea. A pesar de la altura de hasta 5 m que presenta la orilla de esta vega, fue afectada por las inundaciones de los años 1939 y 1959 debido a la sobre-elevación de los caudales inducida aguas abajo del estrechamiento.

3.1.4.c. Confluencias

Un efecto similar al de los pasos estrechos se produce cuando confluyen dos o más sistemas fluviales. La posible coincidencia de avenidas en ambos ríos o el represamiento que puede inducir el río con mayor caudal en el de menor envergadura son factores a tener en cuenta a la hora de zonificar las llanuras aluviales más próximas. Este fenómeno es bien conocido en las vegas del Narcea próximas a la confluencia con el río Nalón (Figura 28), de tal forma que las avenidas del río Nalón dificultan el desagüe del caudal del Narcea. La elevación en el nivel de base en este último favorece la inundación de las vegas más próximas a la confluencia.



Figura 28. Confluencia de los ríos Nalón y Narcea. Las avenidas del río Nalón dificultan el desagüe del caudal del Narcea.

Un efecto similar al que se manifiesta en la confluencia Nalón-Narcea se produce en la desembocadura del río Chico en el Sella. Las avenidas a lo largo de este último favorecen el represamiento de las aguas en el río Chico, de tal forma que a pesar de la elevada altura de sus orillas, los desbordamientos son muy frecuentes. Por estos motivos, a la hora de zonificar las llanuras adyacentes a confluencias conflictivas, los parámetros a tener en cuenta son diferentes a otras, manifestándose una mayor peligrosidad frente a las inundaciones.

3.2. INCIDENCIA DE LA INTERVENCIÓN ANTRÓPICA

En principio, las crecidas fluviales constituyen un caso extraordinario de escorrentía caracterizada por una gran cantidad de flujo que se genera y evacua con relativa rapidez. En este proceso, cuando el flujo supera la capacidad de evacuación del cauce, el agua pasa a ocupar la llanura de inundación, construida a lo largo de los años por el propio sistema fluvial precisamente para absorber el impacto de las avenidas. El problema surge cuando el hombre se instala en estas zonas inundables, no sólo porque supone un incremento de las zonas sometidas a riesgo sino porque pueden producir cambios importantes en el patrón de inundación.

Históricamente, las llanuras aluviales constituyen el sustrato idóneo para la ocupación humana, dada su disponibilidad de agua, la fertilidad de sus tierras y su topografía llana, esta última especialmente carente en la región asturiana. Las principales ciudades y pueblos de Asturias se ubican sobre vegas y torrentes, induciendo a que las inundaciones, que en principio no eran más que un fenómeno geomorfológico natural, pasaran a convertirse en el riesgo de mayores dimensiones en la región.

El paso siguiente a la ocupación de las zonas inundables es la demanda social de medidas de protección contra avenidas. A menudo estas medidas se han materializado en soluciones puntuales de tipo estructural que acarrear dificultades añadidas (Camarasa, 2002). Por una parte, es fácil que se desencadene un sentimiento de falsa seguridad que contribuya a intensificar la ocupación del suelo, al abrigo de las obras de ingeniería. Por otra parte, la interferencia de las mismas en la dinámica fluvial no siempre ha sido suficientemente estudiada y, en muchas ocasiones, ha dado lugar a importantes impactos negativos en las propias llanuras.

Debido a la continua modificación de la geometría natural de los espacios inundables por la actividad humana, el patrón de área inundable resulta de la combinación del modelo natural (integrado por la dinámica de la crecida y la topografía de la superficie) más la distorsión derivada de la intervención antrópica. Estas alteraciones pueden implicar el anegamiento de áreas que normalmente no se inundarían, cambiando así el patrón espacial del riesgo.

Las canalizaciones y los embalses representan obras sobre el cauce que actúan sobre los mecanismos de formación y propagación de las avenidas. Aunque este tipo de actuaciones se han venido aplicando tradicionalmente en la lucha contra las inundaciones en el mundo, y aunque se han mostrado muy satisfactorias en algunos casos, lo cierto es que no han sido capaces de resolver por sí solas toda la problemática causada por las avenidas. Los datos disponibles a nivel mundial muestran como los daños materiales producidos por las inundaciones han ido aumentando en los últimos años, pese a los enormes esfuerzos inversores en actuaciones estructurales, debido sobre todo al gran desarrollo y ocupación de las llanuras inundables (TRAGSA, 2003).

Por estos motivos, a la hora de zonificar las llanuras es necesario considerar el impacto que provocan en el funcionamiento de la corriente las siguientes estructuras artificiales:

- Puntos conflictivos antrópicos
- Canalizaciones
- Embalses
- Otras actuaciones artificiales

Estos elementos han sido cartografiados durante el trabajo de campo y complementan la información geomorfológica utilizada para zonificar el territorio inundable.

3.2.1. PUNTOS CONFLICTIVOS ANTRÓPICOS

Determinadas estructuras artificiales inciden en la morfodinámica fluvial de distintas formas. Por un lado, cuando reducen la sección natural del cauce incrementan el nivel de las aguas favoreciendo la inundación de zonas adyacentes y, por otro, imponen modificaciones en el fondo del río mediante el proceso conocido como socavación. Muchas veces, ambos mecanismos actúan conjuntamente.

La socavación implica una erosión que puede ser general, cuando ocurre en grandes tramos del río ligada a meandros, en estrechamientos, saltos de fondo, etc. o erosión local, que afecta a lugares concretos como consecuencia de la turbulencia que engendran determinadas singularidades como las pilas y estribos de los puentes, los azudes, etc. (Figura 29).



Figura 29. Socavación local en el puente de San Timoteo durante la avenida de 2003 (Río Negro, Luarca).

Los cambios impuestos por las socavaciones locales pueden ser graduales y a largo plazo, o bien producirse durante las crecidas, donde los elevados caudales en cortos periodos de tiempo suelen producir cambios más agudos y de gran magnitud, especialmente temibles debido a la posibilidad de descalzar determinadas cimentaciones (Figura 29). Por otra parte, los cambios generados pueden ser permanentes en el tiempo, o bien tener un crecimiento gradual a largo plazo, de tal forma que los fenómenos de erosión son acumulativos.

En cualquier caso, resulta difícil predecir en que momento tendrán lugar socavaciones capaces de entrañar riesgo, es decir, cuando se producirá la avenida desencadenante del descalce en una cimentación o de otra estructura artificial. Por estos motivos, la catalogación de puntos conflictivos en el presente estudio se ha realizado teniendo en cuenta cuales son las zonas de la red fluvial más susceptibles de sufrir una alteración, capaz de acentuar o agravar las consecuencias de una avenida.

La Tabla 7 muestra las distintas categorías de puntos conflictivos identificadas en la red fluvial a lo largo del presente estudio. Algunos de estos puntos ya han provocado problemas durante determinadas avenidas o episodios de precipitaciones intensas, según se desprende de algunas de las encuestas realizadas a la población ribereña. A la hora de clasificar los puntos conflictivos, además de la clase a la que pertenece, se añade otra categoría denominada *con antecedentes* cuando existen referencias históricas de que han provocado problemas.

PUENTES	DRENAJES	ESTRECHAMIENTOS	OTROS
Severo	Entubación	Natural	Confluencia conflictiva
Moderado	Drenaje de entrada	Artificial	Represamientos y saltos
Leve	Drenaje de salida		Vías deprimidas con deficiencia de drenaje
			Zona de entrada de avenidas – desbordamiento potencial
			Erosión en estructuras antrópicas

TABLA 7. Puntos conflictivos identificados en la zonificación de la peligrosidad.

De las clases de puntos conflictivos consideradas, los estrechamientos naturales y las confluencias descritos con anterioridad son los únicos que no están ligados a elementos artificiales. A continuación analizamos los puntos conflictivos artificiales más frecuentes.

3.2.1.a. Puentes, entubaciones y drenajes subterráneos

Los puentes representan una de las piezas más caras de cualquier vía de transporte, así como lugares de gran valor estratégico. Estudios en todo el mundo sobre los fallos en puentes fluviales concluyen que aproximadamente la mitad se deben a los procesos de socavación mientras en la otra mitad intervienen los materiales, el proyecto, la ejecución y otras acciones no hidráulicas (Martín, 2002). Esto da una idea de la importancia de la socavación fluvial en la seguridad de los puentes.

Una parte importante de los puentes, entubaciones bajo infraestructuras viarias y otros drenajes enterrados bajo zonas edificadas han sido dimensionados sin tener en cuenta caudales extraordinarios de avenidas, produciendo no sólo daños en su estructura sino que también inducen desbordamientos y desvíos en las trayectorias del cauce.

En el presente estudio se han distinguido tres categorías de puentes teniendo en cuenta la reducción que imponen en la sección del cauce:

- Leve. Categoría asignada a los puentes que apenas modifican la sección del cauce, sin pilares sobre el lecho o, cuando los presentan, la superficie ocupada por los mismos es reducida.
- Moderado. Representan puentes que presentan una sección que probablemente no sería suficiente para avenidas de tipo ocasional o excepcional, o que podrían inducir problemas en las vegas adyacentes debido a la presencia de pilares u otras estructuras susceptibles de retener sedimentos durante crecidas.
- Severo. Son puentes que muestran una sección de cauce insuficiente para avenidas de tipo frecuente y, consecuentemente, son sobrepasados por la inundación y presentan una mayor susceptibilidad al taponamiento por sedimentos.



Severo



Moderado



Leve

Adicionalmente se han distinguido tres tipos de drenajes artificiales, aquellos instalados a lo largo de la red fluvial para salvar infraestructuras viarias y zonas urbanas:

- Entubación bajo infraestructura. Son instalados generalmente para que pequeños arroyos salven las carreteras y vías de ferrocarril. En la mayoría de los casos suelen estar infra-dimensionados, siendo responsables de numerosos cortes en las comunicaciones.
- Drenaje de entrada.
- Drenaje de salida.

Los dos últimos puntos se han identificado cuando los drenajes no son puntuales, como en el caso anterior, sino que aparecen soterrados a lo largo de un tramo, generalmente para salvar zonas urbanas. En la cartografía se suele señalar la zona de entrada y salida del drenaje.



Entubación bajo infraestructura



Drenaje de entrada



Drenaje de salida

Puentes, entubaciones y drenajes subterráneos son estructuras susceptibles al taponamiento parcial o total del cauce por los materiales arrastrados por la corriente. En el caso de producirse un taponamiento total, las aguas son represadas aumentando los niveles de inundación hacia arriba y desapareciendo en el momento en que las aguas consiguen sobrepasar la estructura. En ocasiones, sobre todo en los puentes, se puede producir el colapso de la estructura que represa, generando una importante onda de avenida aguas abajo.

Como ejemplo de la susceptibilidad de estas estructuras frente a las avenidas fluviales, podemos mencionar algunos de los puentes que fueron desmantelados durante la avenida de noviembre de 2003, como el de San Timoteo en Luarca, los puentes de Faedo-Brañasivil, Vegacebrón y Espinedo en Salas, el puente de la Ferrería en Valdés o el de Ferreras en Castrillón, etc. Como ejemplos de una devastación en cadena de varios puentes destaca la ocurrida en el río Aranguín durante la avenida del año 1941 y en el Güeña en 1983.

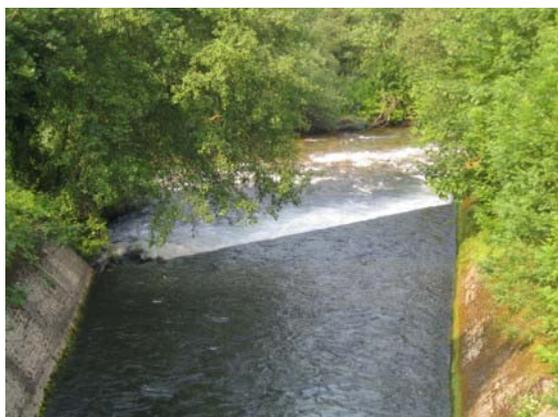
Otros puentes que han agravado los efectos de una avenida como consecuencia de su taponamiento se encuentran en las localidades de Villar de Huergo (Piloña-1938), La Barrosa (Porcía-2003), Corias de Abajo (Pigüaña-1920), Tuñón (Trubia-1977), Molleda (Arlós-2003), Perandones (Coto-1980 y 2000), destacando los taponamientos en los puentes de La Correoria (Piloña) y Espinedo (Nonaya) provocados por varas de hierba y pacas de ensilado arrastradas desde las vegas adyacentes.

No obstante, aunque son numerosos los taponamientos en los puentes que atraviesan grandes ríos, son mucho menos frecuentes que los que se producen en relación con pequeños arroyos, sobre todo en los sistemas torrenciales. La menor frecuencia de las inundaciones en estos sistemas junto a la reducida envergadura del cauce ha generado una falsa seguridad de la población adyacente, que ha favorecido una incontrolada proliferación de entubaciones y pequeñas pasarelas realizadas por particulares, que son extremadamente susceptibles al taponamiento, debido sobre todo a la gran cantidad de material arrastrado durante episodios de fuertes precipitaciones en este tipo de sistemas. Antecedentes de este tipo los encontramos en los arroyos Barguero en San Andrés (Trubia-2001), Veigayiris en San Román (Nalón) o Argancinas en Lomas (Alto Narcea-1938).

Entubaciones ligadas a pequeños arroyos y responsables del corte de carreteras durante fuertes precipitaciones abundan a lo largo de toda la región, aunque solamente se han identificado aquellos presentes en las llanuras aluviales y sistemas torrenciales seleccionados en el presente estudio.

3.2.1.b. Azudes y compuertas

Los saltos en el fondo de un río, ya sean travesías, soleras de estaciones de aforos, obras de toma de caudales por medio de pequeños azudes, etc. dan lugar a la formación de un resalto hidráulico al pie de estas estructuras que puede generar importantes socavaciones, provocadas por la incidente caída del agua. Aunque en los mapas elaborados en el presente estudio se han incluido gran parte de las estructuras de este tipo observadas, se ha prestado especial atención a aquellas que pueden aumentar la peligrosidad favoreciendo la inundación en las vegas adyacentes.



Concretamente, en la región asturiana destacan por su incidencia en la dinámica fluvial los azudes de toma de agua y banzaos, frecuentemente instalados en relación con molinos o para el regadío. Estas estructuras pueden favorecer los desbordamientos, así como la progradación de la avenida a lo largo del canal artificial instalado sobre las márgenes de los ríos.

En ocasiones, tanto los canales de molinos como los propios cauces fluviales presentan compuertas de regulación del caudal. Lógicamente, cualquier instalación de este tipo, cuando la compuerta se encuentra parcialmente cerrada, puede favorecer el taponamiento por sedimentos y el desbordamiento durante momentos de avenida. Un fenómeno de este tipo tuvo lugar en relación con la compuerta presente en el río Arlós a su paso por el Barrio de Llaranes en Avilés, durante la avenida de 2003, uno de los factores responsables del desbordamiento de las aguas hacia la zona urbana. Por estos motivos, su identificación es especialmente importante como punto conflictivo.

3.2.2. CANALIZACIONES

El funcionamiento de un cauce natural, sin ninguna obra de protección, implica la presencia de fenómenos erosivos en determinados puntos del mismo, provocados por la propia debilidad de los materiales implicados, por la elevada velocidad del agua en sus inmediaciones o por la combinación de ambos. Las canalizaciones realizadas para la protección de márgenes suelen ser puntuales y están ubicadas en zonas donde los materiales son más débiles, en las desembocaduras o confluencias de ríos, en los márgenes exteriores de curvas, etc. Por lo general, estas obras no inciden sustancialmente en la dinámica del río, aunque en ocasiones pueden reducir la velocidad de las aguas creando zonas de sedimentación.

Otro tipo de canalizaciones son aquellas orientadas a corregir y regular los cauces, pudiendo modificar la sección del canal, el trazado del tramo canalizado y la capacidad de transporte del mismo. Pueden imponer una elevación de la orilla, aumentar la sección, reducir la rugosidad, dragar el lecho, disminuir la longitud del cauce aumentando su pendiente, etc. En todos los casos se persigue aumentar la capacidad de transporte del río, incrementando la velocidad y capacidad de desagüe para disminuir su nivel y, en consecuencia, la probabilidad de inundación. En ocasiones, sobre todo en zonas urbanas donde el cauce se encuentra limitado por edificaciones adyacentes, podemos encontrar canalizaciones en dos niveles, uno inferior para albergar las avenidas más frecuentes, generalmente de 2 a 2,5 m de altura, y otro superior para evitar inundaciones extraordinarias.

En la cartografía realizada en el presente estudio se ha incluido una capa de información que incluye estas estructuras artificiales en aquellos casos en que ha sido posible identificarlas, separando entre aquellas canalizaciones que han sobrelevado la orilla y, en consecuencia, disminuyen la frecuencia de

inundación de las márgenes, de aquellas otras que persiguen la fijación de la misma. Destacar que en este último caso podemos encontrar canalizaciones sin elevación pero que han impuesto otros cambios en la sección y, en consecuencia, en la frecuencia de inundación. A la hora de zonificar las llanuras implicadas su incidencia es diferente.

Los materiales implicados en este tipo de obras son muy heterogéneos, diferenciando en los mapas de peligrosidad las siguientes tipologías:

- Escollera (fijación o elevación de la orilla)
- Hormigón (fijación o elevación de la orilla)
- Acumulación de materiales (elevación de la orilla)
- Muros de mampostería (elevación de la orilla)

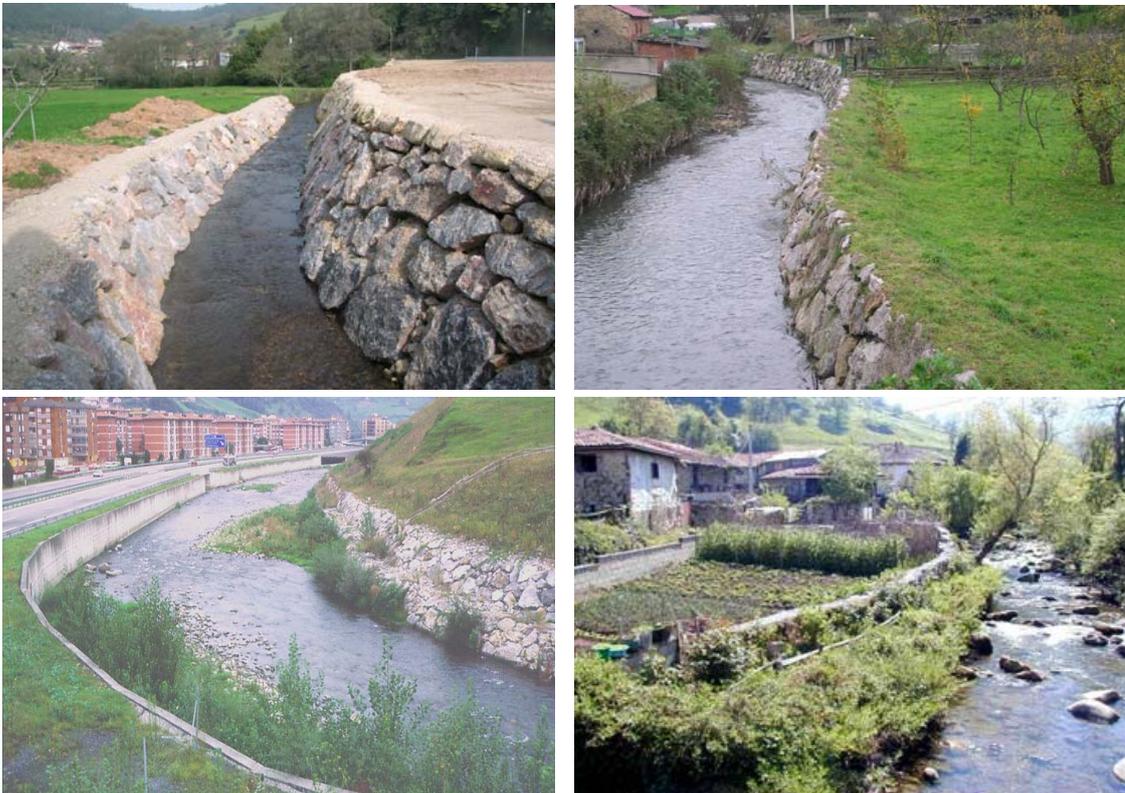


Figura 30. Diferentes tipos de estructuras instaladas en las márgenes de los cauces, relacionadas con la fijación de orillas o elevaciones en las mismas. Estas últimas suelen reducir la frecuencia de los desbordamientos hacia las llanuras.

Sin embargo, estas obras no implican necesariamente la eliminación de la inundabilidad de los terrenos. En ocasiones, son construidas para evitar las inundaciones de un determinado periodo de retorno, pudiendo desbordarse con periodos de retorno superiores. En los casos de canalizaciones antiguas, el río puede haber sufrido procesos que hayan modificado las condiciones originales, alterando el periodo de retorno para el que fue realizada la obra. Además, el

colapso de las canalizaciones, como ocurrió en la escollera en la localidad de Trevías en la avenida de 2003, puede eliminar totalmente la protección frente a las inundaciones.

En el caso de las acumulaciones de material y muros de mampostería los colapsos frente a las avenidas son mucho más frecuentes debido a su menor resistencia. Por estos motivos, no suelen alterar sustancialmente la zonificación de la peligrosidad.

En ocasiones, aparecen representadas más de un tipo de canalización a lo largo de mismo tramo de cauce, de tal forma que puede existir una canalización por escollera en la parte inferior y una acumulación de material o muro de mampostería en la superior. Para facilitar su visualización en los mapas de peligrosidad, se restituye solamente una tipología, dando preferencia a aquella con mayor incidencia en la peligrosidad.

También podemos encontrar zonas que, a pesar de que están separadas del cauce principal por terrenos elevados o canalizaciones, aparecen como zonas de inundación frecuente. Esto se debe a que las citadas estructuras de protección poseen pasos inferiores abiertos por los que puede penetrar la inundación.

3.2.3. EMBALSES

Todos los embalses colaboran en la retención de material sólido transportado por el cauce. Los sólidos transportados por arrastre de fondo son retenidos en su práctica totalidad, y una gran parte de los sólidos en suspensión. Esta disminución de la carga sólida contribuye a amortiguar los efectos negativos de una avenida.

La retención de sólidos puede afectar a la morfología del cauce aguas abajo y arriba del embalse. La colmatación por sedimentos de la cola del embalse disminuye la pendiente aguas arriba y eleva, por lo tanto, el nivel de las aguas para los mismos caudales, aumentando la superficie inundada. Aguas abajo se incrementa el poder erosivo de las aguas debido a la retención del material sólido, pudiendo producirse una profundización del lecho del cauce.

De cara al estudio de inundaciones, la característica más importante es la capacidad de laminación de avenidas que poseen algunos embalses. En Asturias, los embalses con esta capacidad se encuentran en el río Nalón (Embalse de Tanes) y en el río Navia. Según estudios de TRAGSA (2003), generalmente esta laminación afecta a las avenidas con periodos de retorno de 2, 5, 10 e incluso 25 años, creándose una falsa sensación de seguridad en las poblaciones ribereñas aguas abajo del embalse, pasando a ser ocupadas por distintos usos. En consecuencia, cuando una avenida importante pasa el aliviadero del embalse, los daños provocados son mayores de los que cabría esperar. Por estos motivos, la incidencia de estos embalses a la hora de zonificar la peligrosidad de inundación en las llanuras aluviales situadas aguas abajo ha tenido un papel secundario.

3.2.4. OTRAS ACTUACIONES ANTRÓPICAS

La interferencia del hombre en las inundaciones puede estar ligada a cualquier tipo de actuación que, por pequeña que parezca, pueden agravar los efectos negativos de la misma. A continuación se describen algunos ejemplos:

- Río Ferreras a su paso por la localidad de Ferreras. En esta zona se superpusieron varios efectos antrópicos durante la avenida de noviembre de 2003. Por un lado, una pasarela de hormigón, con una altura de menos de 1 m con respecto al lecho del cauce, favoreció la retención de material hasta que provocó el colapso de la estructura, con el consiguiente taponamiento del cauce principal. Este hecho favoreció el desbordamiento del cauce por su margen izquierda, encontrándose en su recorrido un muro de 2 m de altura y casi 1 m de espesor. Esta estructura retuvo el caudal fluvial, represando las aguas hasta que finalmente se produjo su colapso. Aguas abajo del muro se encontraban unas viviendas que, de no ser por la actuación inmediata que se llevó a cabo, se hubieran visto afectadas por una importante onda de avenida cargada de material. Aunque el efecto fue amortiguado, las aguas siguieron unas trayectorias impuestas por la presencia de diferentes estructuras artificiales que en encontraban a su paso. Gran parte de los terrenos afectados no se habrían inundado si la vega no estuviera antropizada. Por otra parte, de no ser por la actuación inmediata, la rotura del muro hubiera provocado importantes daños en las viviendas adyacentes.

- Río Pinzales a su paso por la localidad de Pinzales. La ubicación de una vía férrea en la curva externa de un meandro fue aprovechada por la inundación del año 1996, canalizando el desbordamiento a lo largo de la zanja del ferrocarril a lo largo de 600 m y produciéndose un importante aumento de la velocidad y de material transportado. Las aguas canalizadas en la vía encontraron la salida hacia su cauce natural en el apeadero de Pinzales. Sin embargo, en su regreso al cauce las aguas atravesaron varias edificaciones. La rapidez con que tuvo lugar el evento obligó al rescate de personas mediante helicóptero. De no ser por el desbordamiento a lo largo de la vía férrea, las viviendas no se hubieran visto afectadas por la citada inundación.

En el caso de la localidad de Ferreras, el muro se ha vuelto a construir y en el caso de Pinzales, aun se conserva la posibilidad de desbordamiento a través de la vía férrea.

La presencia de muros transversales a la dirección de la avenida son muy abundantes en las llanuras aluviales. Su frecuente arrasamiento por las inundaciones ha llevado a algunos particulares a instalar pequeños drenajes que permitan la salida de las aguas y evite el desmantelamiento de la estructura (Figura 31).



Figura 31. Drenaje instalado en un muro dentro de las vegas del río Aller.

Adicionalmente, existen otras actividades que pueden agravar el efecto de una inundación. La presencia de acumulaciones artificiales poco consolidadas sobre las vegas, suponen un aporte de carga extra durante avenidas, como escombreras, canteras, balasto de las vías de tren, etc.

Sin embargo, resulta difícil identificar todos los elementos artificiales que son capaces de modificar el patrón de inundación de una llanura. Desde muros, hasta incluso varas de hierba o pacas de silo, pueden alterar esta circunstancia de forma notable. Por estos motivos, hay que tener en cuenta que aunque una determinada vega posea una categoría de peligrosidad correspondiente a un periodo de retorno elevado, podría verse afectado por una avenida poco importante si determinados elementos artificiales modifican el patrón de comportamiento natural.

4. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A la hora de asignar las clases de peligrosidad atendiendo a la probabilidad de ocurrencia de una inundación, además de las evidencias morfológicas encontradas en las llanuras y de los datos de inundaciones históricas, se tienen en cuenta otras variables que puedan aportar información sobre el comportamiento de la corriente durante una avenida. Esta información complementaria es:

- Datos históricos
- Altura de la orilla y datos de caudal
- Incidencia de puntos conflictivos

4.1. DATOS HISTÓRICOS

La exhaustiva recopilación de inundaciones históricas realizada para el presente estudio, en la que se aporta la cartografía de la superficie inundada por una determinada avenida y, en algunos casos, la altura alcanzada por la lámina de agua, constituye una información de gran interés a la hora de asignar frecuencias de inundación a las unidades geomorfológicas obtenidas en el trabajo de campo.

Las encuestas se han centrado muchas veces en determinar el máximo alcance que se recuerda de una inundación, aludiendo generalmente a un sólo evento, en ocasiones a dos eventos y más raramente a más de dos. Se tratan en la mayoría de los casos de eventos correspondientes a periodos de retorno entre 50 y 100 años.

Los registros de inundaciones ocurridas en la primera mitad del siglo XX son, lógicamente, más escasos que los eventos más recientes. Estos datos antiguos poseen gran valor al permitir asimilar periodos de retorno de 100 años a determinadas franjas identificadas en las llanuras aluviales. El resto de la información histórica elaborada a partir de las encuestas permite asimilar periodos de retorno de 50 y 10 años a las zonas más activas identificadas mediante criterios geomorfológicos. La utilización de estos datos se ha realizado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El análisis geomorfológico determina la validez actual de los datos históricos, teniendo en cuenta las posibles alteraciones que el hombre haya podido efectuar con posterioridad al dato.
- La superficie ocupada por las avenidas históricas representa una aproximación a la realidad. Por este motivo, los límites presentados en la zonificación de la peligrosidad dan prioridad a las evidencias geomorfológicas observadas en campo.
- Gran parte de los datos históricos se centran en las avenidas más importantes que recuerdan los encuestados, produciéndose una infravaloración de las más leves, sobre todo aquellas con periodos de retorno inferiores a 10 años. En estos casos los encuestados generalmente se limitan a decir que las orillas se desbordan pero no definen la superficie afectada, motivo por el cual se utiliza fundamentalmente el criterio geomorfológico, teniendo en cuenta además la extrapolación de información procedente de otras zonas confirmadas.

En líneas generales, se ha observado una gran correspondencia entre la frecuencia de inundación indicada por los datos históricos y la que evidencia el análisis geomorfológico, sobre todo en zonas no antropizadas (Figura 32). En áreas fuertemente alteradas por el hombre cobran especial relevancia los datos históricos más recientes, ya que permiten observar cual es el nuevo comportamiento de los desbordamientos.

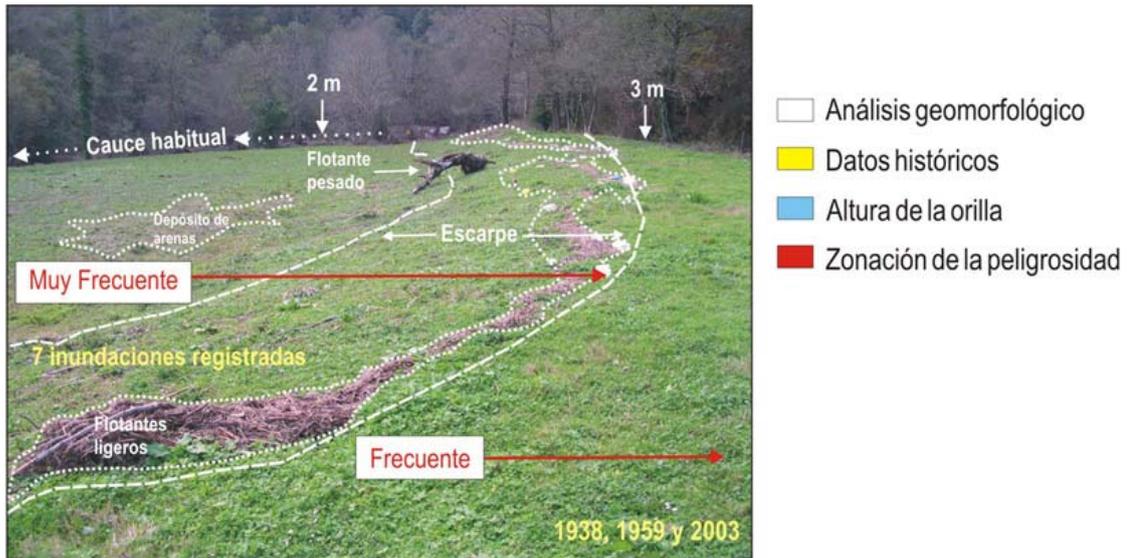


Figura 32. Zonificación de la peligrosidad a partir del análisis combinado de información geomorfológica e histórica.

4.2. LA ALTURA DE LAS ORILLAS Y LOS DATOS DE CAUDAL

Entre los datos recopilados en el trabajo de campo se encuentra la altura de las orillas del cauce y la de los desniveles presentes a lo largo de llanuras laterales. A lo largo de una misma margen, la orilla puede presentar importantes fluctuaciones en su altura, existiendo por lo tanto zonas más favorables a los desbordamientos que otras.

La inundación ocurrida en noviembre de 2003 ha puesto de manifiesto la importancia que presenta la identificación de las zonas con alturas de orilla más bajas, identificadas como zonas de entrada o desbordamiento potencial. En numerosos puntos de la región se inundaron amplias vegas debido a la entrada de las aguas desde zonas puntuales en la orilla.

En los ríos con elevada pendiente, este fenómeno se acentúa aguas abajo, siendo frecuente un aumento en la altura de la orilla a medida que descendemos en el valle. Podemos encontrar en una determinada margen alturas de 2-3 m en la zona ubicada aguas arriba, que aumentan aguas abajo hasta alcanzar los 7 m (Figura 33), muchas veces en relación con rellenos artificiales. Lógicamente,

durante una avenida los desbordamientos se introducen en la llanura desde la zona de cabecera, siempre que la altura de la vega lo permite, regresando a su cauce aguas abajo, independientemente de la altura que presente la zona.

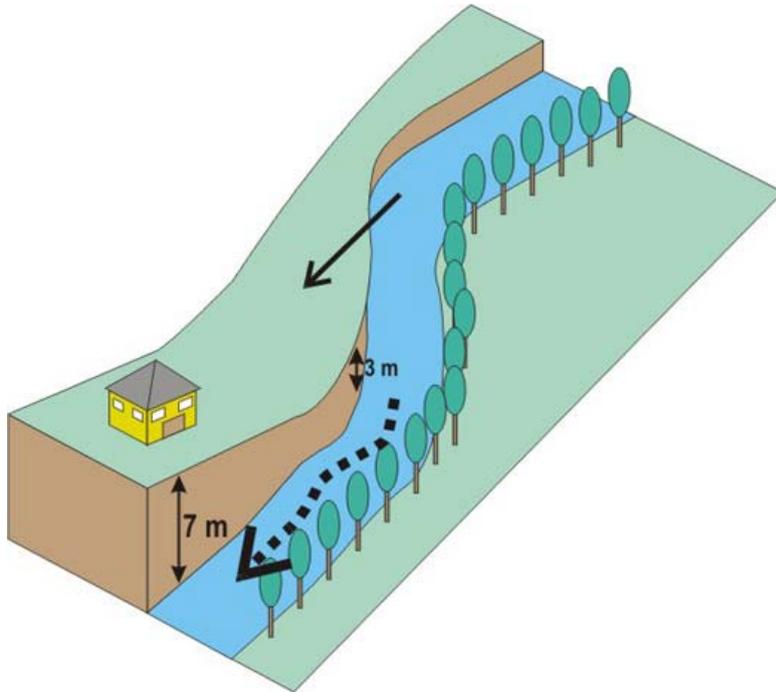


Figura 33. La flecha con trazado continuo señala la zona de entrada de la inundación hacia la vega con edificación, en donde la altura de la orilla es menor.

La altura que presentan las llanuras cuya inundación es conocida mediante evidencias geomorfológicas y datos históricos, sirve para asignar la misma probabilidad de desbordamiento en otras llanuras, siempre que presenten características comparables en la sección del cauce y en la vega.

Otra información que apoya la asignación de las diferentes clases de peligrosidad y su periodo de retorno es la obtenida de algunas de las estaciones de aforos distribuidas por la región, aquellas que presentan datos de la altura alcanzada por determinados caudales en un punto determinado. No obstante, hay que destacar que los datos de altura estimados para un determinado caudal constituyen una aproximación estadística de la realidad, centrado en la zona en la que se ha realizado la medida. El deficiente estado de muchas estaciones, los problemas que suelen acompañar a la obtención de datos, en ocasiones ausentes por problemas técnicos, condiciona en cierta medida la validez de parte de la información.

No obstante, y tomando el dato de altura obtenido de las estaciones de aforo con las precauciones oportunas, la altura puede utilizarse para validar en determinadas zonas las categorías de peligrosidad obtenidas mediante el resto criterios considerados. Debido a que el periodo de registro de las estaciones es corto en la mayoría de los casos, solamente es aplicable a la categoría de

Inundación muy frecuente, con periodo de retorno de 10 años, y a la categoría de *inundación frecuente*, con periodos de retorno de 50 años.

4.3. INCIDENCIA DE PUNTOS CONFLICTIVOS

En las inmediaciones de algunos puntos conflictivos, como algunas confluencias, es frecuente encontrar zonas pertenecientes a las categorías de peligrosidad más altas, asignadas por la abundancia de evidencias geomorfológicas y datos históricos.

Sin embargo, existen otros puntos conflictivos que carecen de estas evidencias, debido en muchos casos a que son estructuras recientes o no se ha producido la avenida capaz de poder alterar la zona. No obstante, han sido identificadas en la cartografía al objeto de poner de relieve que existe un posible incremento del riesgo de desbordamiento. Dicha posibilidad depende de numerosos factores, como el volumen de carga arrastrada por la corriente susceptible de taponar la sección del cauce en ese punto, la resistencia de la estructura, etc. Representa por lo tanto un factor difícil de predecir, que puede o no producirse dependiendo de la envergadura de la avenida y de la carga disponible.

Por estos motivos, hay que tener en cuenta que aunque una determinada vega posea una categoría de peligrosidad correspondiente a un periodo de retorno elevado, podría verse afectado por una avenida poco importante si determinados puntos conflictivos modifican el patrón de comportamiento natural.

5. ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD ALUVIAL

Las clases de peligrosidad consideradas dentro de las llanuras aluviales son:

- Desbordamientos fluviales
 - Cauce principal
 - Inundación muy frecuente
 - Inundación frecuente
 - Inundación ocasional
 - Inundación excepcional
- Otras inundaciones
 - Deficiencias de drenaje
 - Inundación mareal
- Zonas desligadas de la dinámica fluvial
 - Zonas rellenadas
 - Zonas aisladas

A la hora de zonificar la peligrosidad ligada a desbordamientos fluviales, se hace una equivalencia de las categorías mencionadas a los periodos de retorno establecidos en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, en función del análisis geomorfológico y los datos históricos. En la Figura 43 se muestra el aspecto de la Zonificación de la Peligrosidad ligada a inundaciones.

Las zonas susceptibles de sufrir inundaciones por deficiencias de drenaje, al igual que las ligadas a la dinámica marina, representan una categoría independiente de los desbordamientos fluviales. Las tres pueden aparecer superpuestas en los mapas de peligrosidad.

5.1. DESBORDAMIENTOS FLUVIALES

5.1.1. INUNDACIÓN MUY FRECUENTE

En el presente estudio se ha observado que en muchos ríos asturianos, las inundaciones que desbordan los cauces principales e invaden las márgenes y llanuras laterales se producen con una frecuencia muy alta, al menos de una vez cada 10 años. Debido a que en estos terrenos con una dinámica fluvial tan activa suelen abundar las evidencias geomorfológicas, además de las categorías establecidas en la Directriz Básica, se ha añadido otra zona denominada *Inundación muy frecuente*.

Los terrenos pertenecientes a esta categoría se caracterizan por estar en contacto con el cauce principal. Este contacto suele estar representado por escarpes cuya definición y altura depende del tipo y envergadura del río asociado. No obstante, destacar que frecuentemente a lo largo de un mismo río se alternan tramos con diferente definición del cauce.

Dependiendo de la frecuencia de los desbordamientos, los terrenos englobados en esta categoría presentan diferentes características. Por un lado, cuando la inundación se produce prácticamente todos los años, los terrenos muestran numerosas irregularidades superficiales representadas por alternancia de surcos, canales y crestas. Dentro de ellos suelen observarse acumulaciones de restos flotantes (vegetales y artificiales) y sedimentos de variada granulometría, algunos expuestos sin vegetación y otros parcialmente recubiertos por vegetación herbácea, arbórea o arbustiva (Figura 34). Se trata de terrenos en los que no sólo la inundación tiene lugar muy frecuentemente, sino que además el calado y la velocidad que posee la corriente cuando los afecta son elevados. En consecuencia, los sustratos suelen presentar una granulometría dominada por sedimentos gruesos como gravas, cantos y bloques, que limitan el aprovechamiento antrópico de los terrenos.



Figura 34. Distintos aspectos que presentan los terrenos más activos englobados dentro de la categoría *Inundación muy frecuente*. Arriba el río Deva, a la izquierda y derecha el Nalón en Tudela Veguín y Olloniego respectivamente.

En el otro extremo, aparecen terrenos englobados en esta categoría en los que dichas evidencias geomorfológicas aparecen menos marcadas y son menos abundantes, hecho relacionado con que la frecuencia de inundación es ligeramente menor y, sobre todo, porque los calados y velocidades también son menos importantes. En consecuencia, la granulometría del suelo presenta una proporción elevada de sedimentos finos que favorece el aprovechamiento del suelo para fines agropecuarios, instalándose en algunos casos diferentes tipos de edificaciones.

Entre la clase más frecuente, con inundaciones casi todos los años, y la clase extrema con una inundación cada 10 años, podemos encontrar una gran variedad de situaciones caracterizadas, en líneas generales, por producirse un suavizado de las morfologías y una disminución en el volumen de sedimentos gruesos a favor de los más finos. No obstante, destacar que este criterio, aunque

muy frecuente, no puede aplicarse de forma generalizada en los ríos asturianos, ya que depende no sólo de las características litológicas del sustrato, sino que además no es igual un tramo fluvial en una zona de cabecera (predominio de sedimentos gruesos) que un tramo litoral (predominio de sedimentos finos), ni una cuenca montañosa que una pequeña cuenca costera, ni llanuras aluviales con altas pendientes frente a llanuras con gradientes bajos, etc.

Un ejemplo de extensas llanuras aluviales con frecuencias de inundación elevadas lo representan numerosas vegas del río Aller, en las que abundan las evidencias geomorfológicas. En el otro extremo se encuentran las vegas del río Nalón y Narcea en los tramos más bajos de la red, caracterizadas por presentar topografías muy suaves con frecuencias de inundación, velocidades y calados que permiten su aprovechamiento para pastos y cultivos. Los datos históricos en el Nalón mencionan inundaciones afectando a la mayor parte de las vegas en los años 1953, 1959, 1977, 1980, 1993, 1998 y 2003, una periodicidad que evidencia la pertenencia de estos terrenos a la categoría de *Inundación muy frecuente* (Figura 35). El aspecto de esta unidad en el Narcea se observa en la Figura 36.



Figura 35. Diferentes inundaciones ocurridas en torno a los puentes de Pravia a través del río Nalón, correspondientes a los años 2003 y 1998 en las superiores, y a los años 1921 y 1923 en las inferiores, fechas en las que no estaba construido el puente del ferrocarril.



Figura 36. Zonas incluidas en la categoría de *Inundación muy frecuente* en el valle del Narcea.

5.1.2. INUNDACIÓN FRECUENTE

Los terrenos clasificados dentro de la categoría de *Inundación Frecuente* son aquellos que se inundan, al menos, una vez cada 50 años. Al igual que ocurría con la categoría anterior, las características geomorfológicas que albergan varían en función de la mayor o menor frecuencia de inundación y de la velocidad y del calado de las aguas durante avenidas.

Dentro de la categoría *Inundación Frecuente* están englobadas zonas que pueden inundarse hasta 4 veces en 50 años y zonas que se inundan solamente una

vez. El número y definición de las evidencias geomorfológicas varía en función de la frecuencia y características de la corriente. En líneas generales, nos encontramos con terrenos ligeramente más elevados que los incluidos en la categoría de *Inundación muy frecuente*, en los que aparecen morfologías irregulares representadas por crestas, surcos y escarpes (Figura 37). Adicionalmente, a la hora de asignar esta categoría también se consideran otras variables como la dimensión de la vega, la altura de las orillas y el ancho del cauce, la presencia de estrechamientos, las canalizaciones o las confluencias con otros ríos que puedan alterar el comportamiento de una avenida, etc.



Figura 37. Llanuras aluviales pertenecientes a la categoría *Inundación Frecuente* que muestran irregularidades superficiales.

En los terrenos pertenecientes a esta categoría no es frecuente encontrar sedimentos aflorantes, debido a que en la mayoría de los casos han transcurrido muchos años desde la última avenida que los afectó. Los sedimentos asociados a estas inundaciones aparecen generalmente colonizados por vegetación (Figura 37) o fueron retirados en su momento por el hombre.

Sin embargo, durante la realización del presente trabajo, concretamente el 16 de noviembre de 2003, gran parte de los ríos asturianos se desbordaron inundando amplias superficies de llanuras aluviales. En determinadas cuencas como la del río Aller, el Lena y el Caudal, no se produjo una crecida importante, mientras que en el Esva, el Negro y numerosos ríos costeros adquirió dimensiones notables, habiendo sido comparada en las encuestas a las inundaciones ocurridas en 1998, 1983 y 1959. En muchos ríos representaría una inundación perteneciente a la categoría *Frecuente*, es decir, al periodo de retorno de 50 años, motivo por el cual los terrenos afectados por este evento representarían la superficie mínima que debería ocupar la *Zona Frecuente* en el mapa de peligrosidad.

Además de las fotografías realizadas durante el episodio, que permiten identificar claramente la zona inundada, posteriormente al mismo las llanuras aluviales albergaban un cuantioso número de evidencias geomorfológicas que facilitaron la delimitación de la zona *Inundación frecuente*. Se trata de evidencias

no sólo erosivas, sino también relacionadas con procesos sedimentarios que aportaron grandes volúmenes de material con granulometrías muy diversas (Figura 38). Además, se ha tenido la oportunidad de utilizar otros indicadores como alineaciones de restos vegetales e incluso vegetación herbácea tumbada, evidencias que solamente pueden observarse en momentos muy próximos al evento.



Figura 38. Inundación de noviembre de 2003 en la Vega de Bains (Río Esva).

En otras llanuras en las que la citada inundación de 2003 no tuvo lugar, además de las evidencias geomorfológicas, han tenido especial relevancia los datos históricos obtenidos de las encuestas así como de las fotografías recopiladas, la gran mayoría correspondientes a eventos pertenecientes a la categoría de *Inundación frecuente* (Figura 39).



Figura 39. Peñallán afectada por desbordamientos del río Nalón.

5.1.3. INUNDACIÓN OCASIONAL

A largo del presente estudio se han observado en numerosas llanuras aluviales franjas de terreno en contacto con zonas de tipo *inundación frecuente* ligeramente más elevadas, formando el conjunto niveles de terraza separados por escalones entorno al cauce principal. Las evidencias superficiales indicativas de una actividad fluvial reciente son escasas, aunque son frecuentes los escarpes y cambios de pendiente graduales que permiten delimitar la unidad.

Teniendo en cuenta el desnivel respecto al cauce principal, la anchura del cauce y de la vega, los datos validados sobre la categoría *Inundación frecuente*, y algunos datos históricos más antiguos, se ha delimitado una zona denominada *Inundación Ocasional*, cuya equivalencia con los periodos de retorno considerados en la Directriz Básica de Planificación ante el riesgo de inundación sería de 100 años.

Los referentes históricos relativos a inundaciones con periodos de retorno superiores a 50 años son escasos. No obstante, la existencia de esta información en una determinada cuenca hidrográfica, aunque sea de forma puntual, permite asignar la categoría de *Inundación ocasional* a otras zonas equivalentes mediante extrapolación de sus características geomorfológicas.

Un ejemplo de aplicación de datos históricos para identificar zonas de tipo *Inundación ocasional* lo encontramos en la localidad de Caranga de Abajo, en la Cuenca del río Trubia. Dicha población se vio inundada prácticamente en su totalidad solamente en el año 1918. Esta información, junto a las evidencias geomorfológicas observadas en campo, ha permitido zonificar la llanura como se muestra en la Figura 40. A partir de esta zonificación es posible identificar otras zonas equivalentes a lo largo de la cuenca.

Aunque en líneas generales estas zonas con *Inundación ocasional* suelen aparecer en contacto con la categoría *Inundación frecuente*, en determinadas vegas y sobre todo, en llanuras antropizadas con rellenos y canalizaciones, podemos encontrarlas en contacto directo con el límite del cauce, debido a la sobreelevación impuesta en la orilla o a aumentos realizados en la anchura del canal.

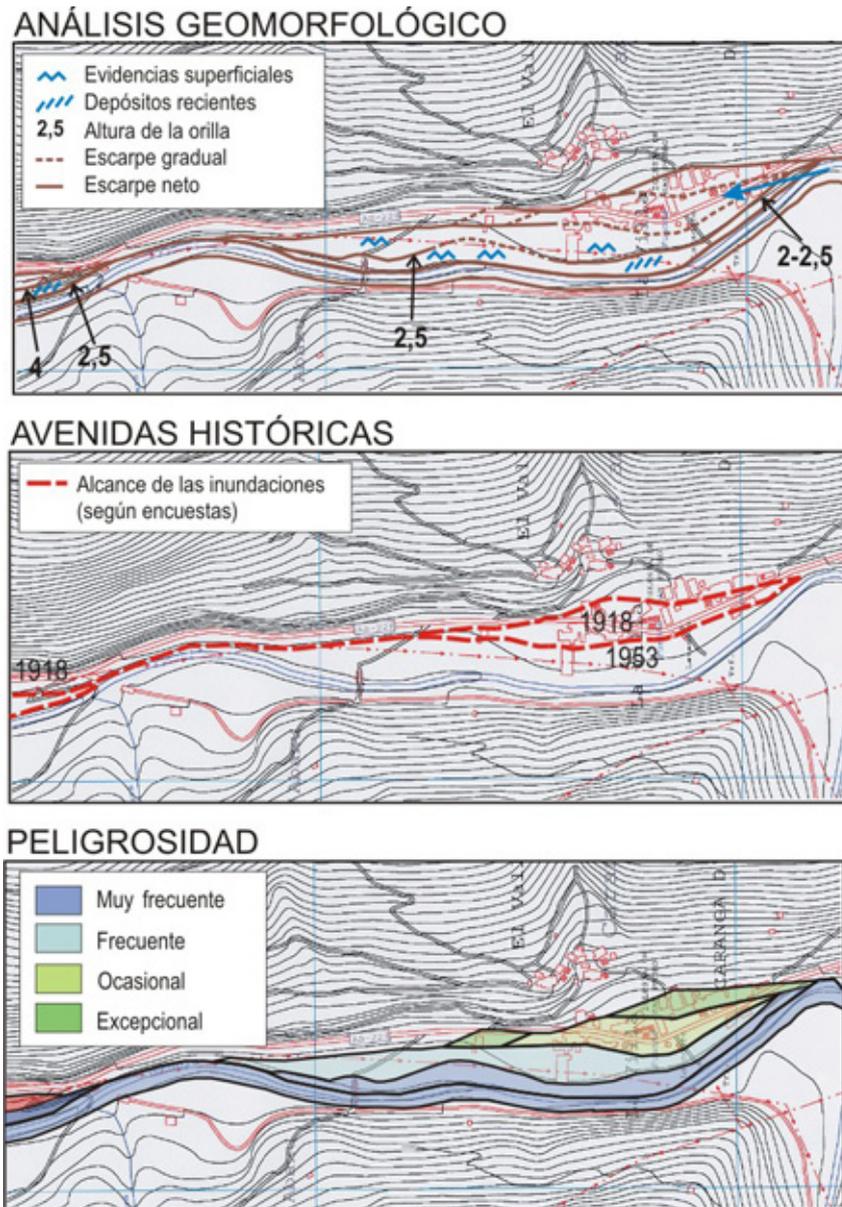


Figura 40. Combinación de datos históricos y análisis geomorfológico en la zonificación de peligrosidad realizada en Caranga de Abajo (Río Trubia).

5.1.4. INUNDACIÓN EXCEPCIONAL

Las llanuras aluviales constituyen zonas potencialmente inundables, ya que representan superficies construidas por el río para que absorban el exceso de caudal y sedimentos durante inundaciones. Por este motivo, todos los terrenos que conforman las llanuras aluviales de los ríos asturianos y que no están incluidos en el resto de las categorías anteriores han sido incorporados en la zonificación de la peligrosidad en la categoría de *Inundación Excepcional*, cuya

equivalencia con los periodos de retorno considerados en la Directriz Básica de Planificación ante el riesgo de inundación sería de, al menos, 500 años.

Existen referencias históricas de inundaciones catastróficas en diversos puntos de la región en los años 1522 y 1586, que podrían corresponder a inundaciones de tipo excepcional, aunque resulta difícil precisarlo con exactitud dada la escasez de información.

Dentro de esta categoría de peligrosidad se han incluido aquellas superficies planas de la llanura aluvial que no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores y que presentan unas características que, bien por avenidas excepcionales o inducidas por causas artificiales, podrían verse afectados por una inundación de este tipo (Figura 41).

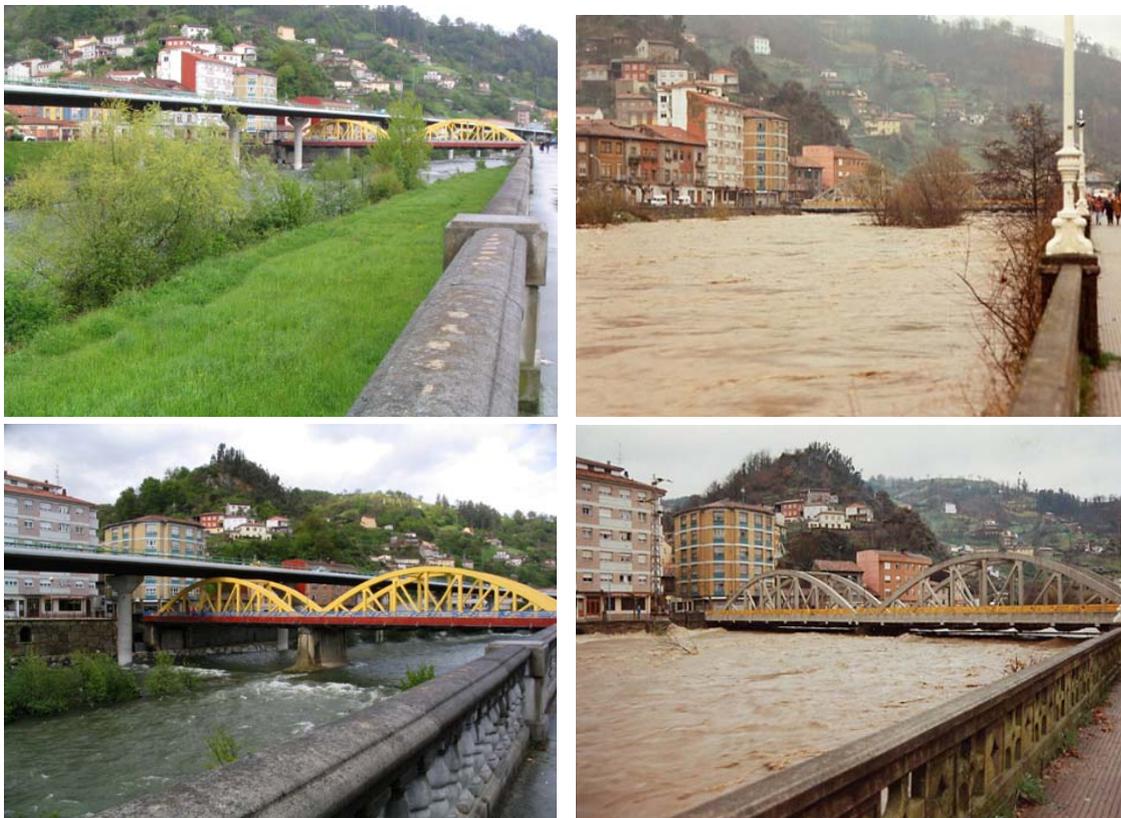


Figura 41. Elevación de la lámina de agua durante la avenida de 1993 en el río Nalón a su paso por el Entrego. Las márgenes del cauce están consideradas en la categoría de *inundación excepcional*.

5.1.5. ZONAS DESLIGADAS DE LA DINÁMICA FLUVIAL

En las llanuras aluviales de la región abundan importantes rellenos artificiales que presentan una notable elevación con respecto a su entorno y cuya probabilidad de verse afectados por una avenida fluvial es muy baja. Por un lado

se cartografían estas zonas elevadas, ligadas a importantes rellenos artificiales (escombreras, carreteras, vías de ferrocarril, etc.). Por otro lado, es frecuente que estos rellenos aislen de la dinámica fluvial terrenos aluviales que conservan su cota original. Los primeros se han denominado en los mapas de peligrosidad como *Zonas rellenadas* y los segundos *Zonas aisladas*.

5.2. OTRAS INUNDACIONES

5.2.1. INUNDACIÓN MARINA

La frecuencia con que se producen inundaciones ligadas a la dinámica marina está relacionada con las mareas diarias, mareas vivas, mareas equinocciales y episodios de tormenta capaces de generar oleajes de gran envergadura. Estos episodios de inundación pueden ocurrir todos los días durante pleamares normales, varios días al mes durante pleamares vivas, varios días cada año o cada pocos años durante pleamares equinocciales o, como ocurre en el caso de los temporales de oleaje, ante periodos de retorno más amplios.

Los métodos de identificación de los terrenos que pueden verse afectados por el oleaje abarcando periodos de retorno elevados, requiere de un análisis muy laborioso no abordable en un estudio regional como el planteado en el presente proyecto, aunque sí se han identificado algunos depósitos de tormenta en algunas desembocaduras no urbanizadas, y relacionados con eventos recientes.

Por estos motivos, la identificación de zonas susceptibles de sufrir inundaciones marinas se ha centrado fundamentalmente en el análisis de las mareas, superponiéndose a las consideradas en la zonificación de la peligrosidad fluvial. Para ello se ha tenido en cuenta la altura de la máxima pleamar predecible para un periodo de 19 años, estimada por el Instituto Hidrográfico de la Marina en 5,10 m por encima del Cero del Puerto de Gijón, es decir, al menos unos 3 m por encima del Nivel Medio del mar en Alicante. Hay que tener en cuenta que este valor representa una altura mínima, ya que si consideramos los efectos meteorológicos y los temporales marinos este nivel es mayor.

Además de considerar la altura de las mareas, en los medios estuarinos se han tenido en cuenta evidencias geomorfológicas, algunas diferentes a las de las llanuras aluviales como la presencia de canales mareales, cuya morfología y amplitud está directamente relacionada con la actividad marina a la que están sometidos. Por otra parte, la identificación de ambientes como llanuras

intermareales con escasa vegetación, marismas inferiores y marismas superiores ayudan a la identificación de las zonas más susceptibles de verse afectadas por las mareas.

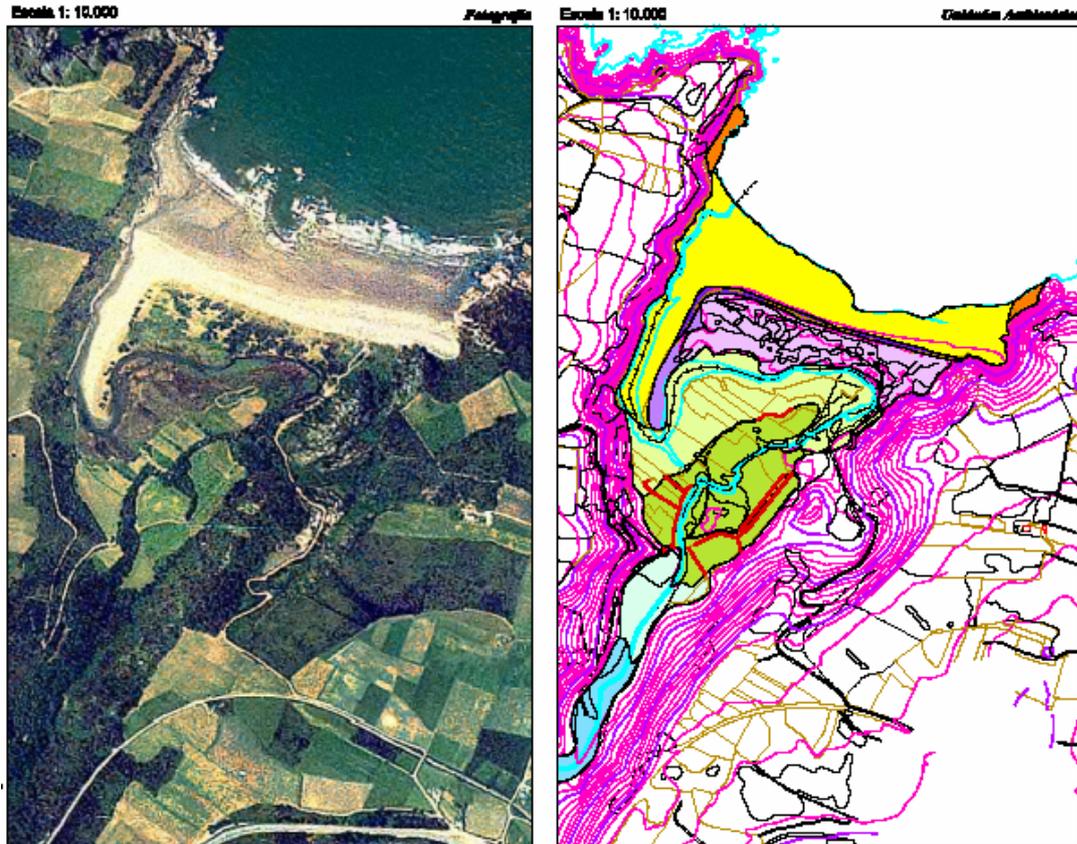


Figura 42. Desembocadura del río Barayo, mostrando en tonos amarillos y verdes las zonas más afectadas por inundaciones mareales y en azules la predominancia de procesos fluviales.

Además de identificar las zonas que frecuentemente se ven afectadas por la onda salina de las mareas, también se han incluido terrenos que por sus características y proximidad a la desembocadura pueden verse afectados por la onda mareal, aquella resultante de la confluencia entre los caudales fluviales y marinos y responsable de las elevadas frecuencias de inundación que presentan las vegas en estuarios.

En otras ocasiones, y a pesar de que en determinadas desembocaduras la influencia fluvial es prácticamente inexistente ej: Villaviciosa, Avilés, se han utilizado las categorías de peligrosidad definidas en los desbordamientos fluviales para dejar constancia de la probabilidad de afección de estos terrenos por procesos marinos extremos o coincidencia de importantes eventos entre el medio fluvial y mareal.

5.2.2. INUNDACIONES POR DEFICIENCIAS DE DRENAJE

Las zonas susceptibles de sufrir inundaciones por deficiencias de drenaje, al igual que las ligadas a la dinámica marina, representan una categoría independiente de los desbordamientos fluviales.

En el presente trabajo se han delimitado aquellos terrenos susceptibles de sufrir inundaciones por deficiencias de drenaje, teniendo en cuenta la topografía deprimida con respecto a la de su entorno. Las aguas retenidas en estas zonas pueden ser aportadas directamente por las precipitaciones ligadas a lluvias persistentes y torrenciales, por elevaciones en los niveles freáticos, por desbordamientos fluviales, etc.

Estas zonas deprimidas, además de las propias de las llanuras (antiguos trazados fluviales), pueden haberse creado artificialmente debido a la ubicación de rellenos en su entorno. Frecuentemente, determinados sectores de los núcleos urbanos se han desarrollado sobre depresiones aluviales previas, de tal forma que la probabilidad de que se produzca una inundación por deficiencia de drenaje se multiplica. En estos casos, la inundación estará muy condicionada por la posibilidad de taponamiento de los drenajes que conforman la infraestructura urbana.

Adicionalmente, en la identificación de puntos conflictivos también se han señalado algunas deficiencias de drenaje puntuales, ligadas muchas veces a carreteras que salvan otras infraestructuras elevadas, y que por su topografía deprimida, las aguas procedentes de las lluvias o de los desbordamientos, se estancan interrumpiendo las comunicaciones.

5.2.3. EJEMPLO: RÍO CHICO (CUENCA BAJO SELLA)

El río Chico es un afluente del río Sella, cuya confluencia se produce al Norte de la localidad de Arriondas. El dominio fluvial del río Chico intercepta gradualmente con el del Sella, de tal forma que los niveles de terraza identificados en la zona adaptan su morfología al trazado de ambos ríos. A medida que el río Chico se aproxima al Sella, la repercusión de este último se traduce en un incremento de la peligrosidad a lo largo de las vegas de su afluente.

Según la información sobre inundaciones históricas obtenida de fuentes documentales y de encuestas a la población ribereña, la zona se ha visto afectada por varias inundaciones. La más antigua e importante tuvo lugar en el año 1938, y más recientemente destacan las ocurridas en los años 1976, 1980, 2000 y 2003. Probablemente, las inundaciones de los años 1983 y 1973 en el río Sella también han afectado, en menor o mayor grado, a la zona de estudio, aunque no existen datos concisos. En la mayoría de los casos se menciona que los desbordamientos a lo largo del río Chico se vieron favorecidos por el represamiento que ejercen

las crecidas del río Sella, hecho en gran medida relacionado con el tipo de confluencia: las aguas del río Chico desembocan a contracorriente del Sella.

Además de la problemática ligada a la confluencia, existen otros puntos conflictivos:

- *Puente* ligado a la carretera a Pendás. Representa una estructura con sección insuficiente, habiendo sido sobrepasado por inundaciones históricas en varias ocasiones, la más reciente en noviembre del 2003. Esta última ha colmatado parcialmente la sección del cauce, incrementando la posibilidad de los desbordamientos ante avenidas futuras, con la afección a varias viviendas ubicadas aguas abajo. Se ha catalogado como puente de tipo Severo.
- *Estrechamiento artificial* ligado a la vía de ferrocarril. Su trazado transversal a las vegas induce una reducción de la sección disponible durante avenidas. Cuando los altos caudales del río Chico alcanzan este estrechamiento, cabe esperar una pérdida localizada de energía y una elevación del nivel aguas arriba. Al mismo tiempo, las zonas situadas aguas abajo recibirán, tras superar el obstáculo, una onda de crecida sobreelevada. La susceptibilidad a la inundación de estas vegas es mayor que la que pueden tener otras comparables, pero que no presentan este tipo estrechamientos.
- Identificación de varios puntos del tipo *Desbordamiento favorable*, entre los que destacan: 1) Aguas arriba del puente del ferrocarril, en la zona donde la orilla esta canalizada por una escollera elevada. Este encauzamiento es interrumpido por una rampa que cruza el cauce, punto en el cual la escollera presenta una altura ligeramente menor a la del resto del encauzamiento. Durante la avenida de noviembre de 2003 las aguas se desbordaron por esta zona menos protegida, inundando la margen derecha. El desbordamiento llegó a atravesar el paso bajo la vía de ferrocarril que conecta con la Avenida de la Constitución. 2) Margen izquierda sin canalizar ubicada aguas arriba del puente del ferrocarril. Los desbordamientos a lo largo de esta orilla de baja altura son muy frecuentes, observándose mantos de arenas relacionados con eventos recientes. La inundación progresa aguas abajo hasta atravesar el paso de la carretera a Pendás bajo la vía del tren y afectando a los terrenos aluviales situados a continuación.

Las características geomorfológicas de las llanuras aluviales analizadas en el entorno de esta confluencia, los puntos conflictivos y los datos históricos han permitido elaborar la zonificación de peligrosidad frente a inundaciones mostrada en la Figura 43.

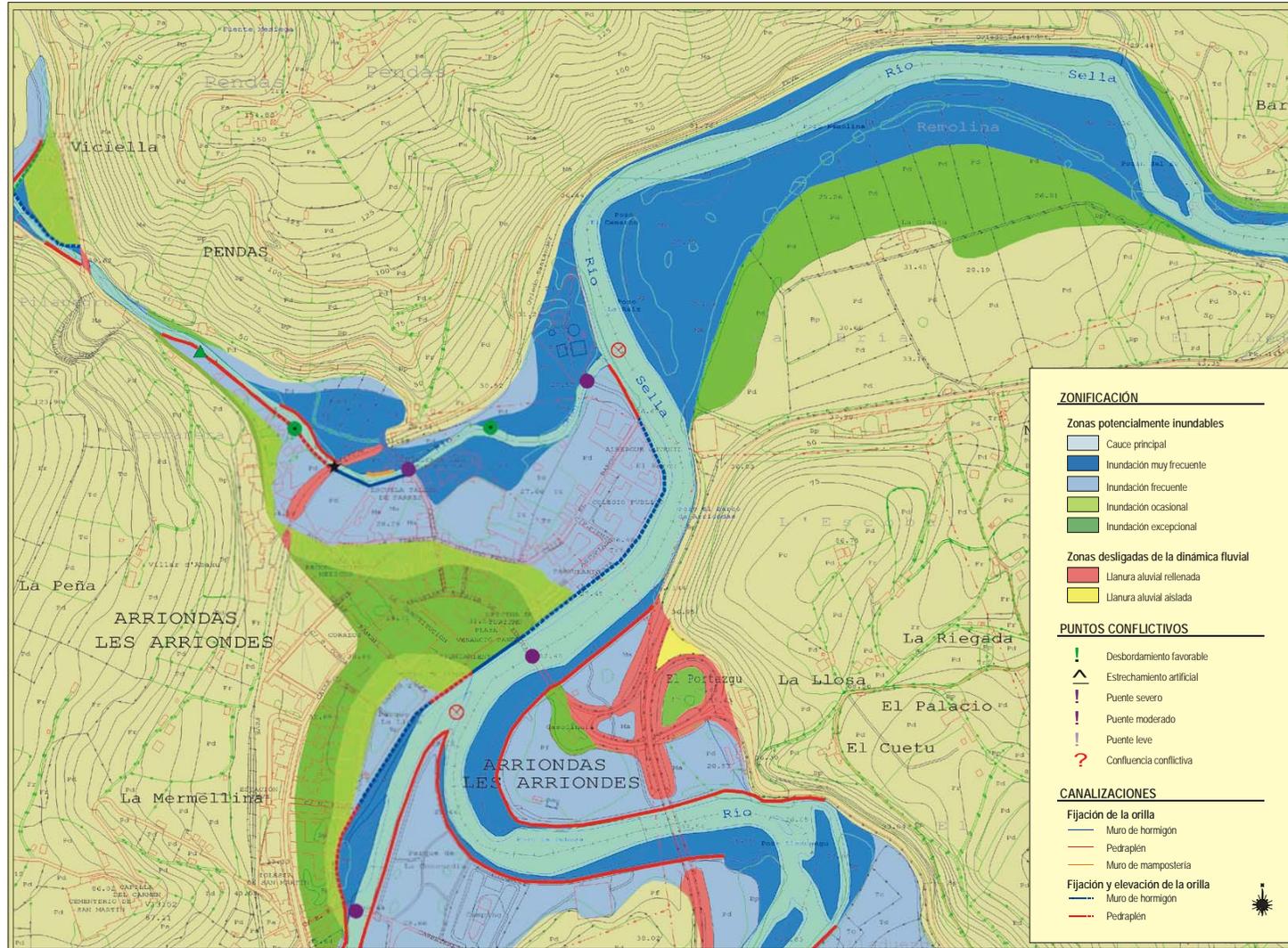


Figura 43. Zonificación de la peligrosidad frente a inundaciones en la confluencia de los ríos Chico y Sella, al Norte de la localidad de Arriondas (Cuenca Bajo Sella).

6. BIBLIOGRAFÍA

- TRAGSA (2003). Avenidas, inundaciones y ocupación de cauces. En: *La ingeniería en los procesos de desertificación*. Mundi-prensa, Madrid. 535-596 pp.
- Batalla, R.J. y Sala, M. (1994). Relación entre el caudal bankfull y la carga de fondo en un río mediterráneo semihúmedo de arenas y gravas. En: *Geomorfología en España* (Arañes, J.; García Ruiz, J. M. y Gómez Villar, A. Eds.) Sociedad Española de Geomorfología, Logroño. 1: 433-422.
- Díez Herrero, A. (2002). Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados. En: *Riesgos Naturales* (Ayala-Carcedo, F. J. y Olcina Cantos, J. Eds.). Barcelona. 921-952 pp.
- Camarasa Belmonte, A. M. (2002). Crecidas e inundaciones. En: *Riesgos Naturales* (Ayala-Carcedo, F. J. y Olcina Cantos, J. Eds.). Barcelona. 859-879 pp.
- Martín Vide, J. P. (2002). Socavación de cimientos de obra en crecidas. En: *Riesgos Naturales* (Ayala-Carcedo, F. J. y Olcina Cantos, J. Eds.). Barcelona. 969-976 pp.
- Roselló, V. M. (1989). Los llanos de inundación. En: *Avenidas Fluviales e inundaciones en la Cuenca del Mediterráneo*. Alicante, 249-283 pp.
- Pfister, C. (1999). *500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*, Bern Haupt, 304 pp.
- Freixes, A.; Godé, L. & Escuer, J. (2002). Flood mapping of catalonian inland basins: GIS approach. En: *Whorkshop of Paleofloods, Historical Data & Climatic Variability*, Barcelona.
- Marquínez, J.; Menéndez, R.; Lastra, J.; Fernández, E.; Jiménez-Alfaro, B.; Wozniak, E.; Fernández, S.; González, J.; García, P.; Álvarez, M.A.; Lobo, T. & Adrados, L. (2003). *Riesgos Naturales en Asturias*. Desprendimientos de rocas, deslizamientos superficiales, grandes movimientos en masa, aludes, inundaciones e incendios forestales. KRK Ediciones, Universidad de Oviedo, 133 pp.

- Soria, F.J.; Durán, J.J.; Fernández J. & Romero, E. (1990). Las inundaciones del otoño de 1989 en la cuenca baja del río Guadalhorce (Málaga). *1ª Reunión sobre el Medio Ambiente en Andalucía*, Comunicaciones, 423-431. Córdoba.
- Corominas, J. & Alonso, E. (1990). Geomorphological effects of extreme floods (November, 1982) in southern Pyrenees. *Hidrology of Mountainous Regions*, II, IAHS Publ., 295-302.
- Martínez Goytre, J. & Garzón, M.G. (1996). Análisis de las avenidas históricas en el río Júcar. *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*, Granada, 3. 29.
- Wolman, M.G. (1971). Evaluating alternative techniques of flood plain mapping. *Water Resources Research*, 7. 1383-1392
- López Bermúdez, F. Y Gutiérrez Escudero, D. (1983): Descripción y experiencias en la avenida e inundaciones de octubre de 1982 en la cuenca del río Segura. *Estudios Geográficos*, XLIV, pp. 87-120.
- Romero, E.; Durán, J.J.; Fernández, J. Y Ruiz, J.L. (1989): Reconstrucción e interpretación sedimentaria de la avenida de octubre de 1973 de la Rambla de Albuñol (Granada). *XII Congreso Español de Sedimentología*, Simposios, pp. 227-237. Bilbao.
- Blair, T.C y Mcpherson, J.C. (1994): Alluvial fans an their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages. *J. Sediment. Res.*, A64 (3): 450-489.

IV. PELIGROSIDAD: ANÁLISIS HIDRÁULICO DE AVENIDAS FLUVIALES

La delimitación de la zona inundable para diferentes periodos de retorno es habitualmente obtenida, o así debería de ser, a partir de: el estudio de datos históricos y de aforos (cuando estos estuvieran disponibles); del desarrollo de modelos hidrológicos que permitan obtener caudales para diferentes periodos de retorno de lluvia, de modelos hidráulicos que permitan obtener la altura de la lámina de agua y el calado de la misma; y de la construcción de una cartografía basada en evidencias geomorfológicas, que permita zonificar las áreas inundables en periodos de recurrencia relativos.

Cada uno de estos métodos presenta sus propias deficiencias y ventajas, lo que hace inevitable que deban de complementarse en la búsqueda del resultado óptimo.

Los datos históricos disponibles sobre inundaciones son generalmente escasos, obligando a la realización de laboriosas campañas de recopilación de información, como la que se ha llevado a cabo en este proyecto, para obtener resultados satisfactorios. Estos datos históricos tienen gran importancia en la calibración de los estudios geomorfológicos e hidrológicos.

Los estudios geomorfológicos permiten, a partir de campañas de campo que recopilen evidencias de este tipo, zonificar las áreas de inundación, línea metodológica principal seguida en el presente proyecto. La limitación de este método se refiere a la asignación de las áreas zonificadas a periodos de retorno concretos, dado que no proporciona una serie de valores anuales que puedan ser ajustados a una función de distribución de valores extremos. Sin embargo, su calibración con los datos históricos y el criterio científico seguido en todo el proceso permite asumir una gran validez en los resultados.

El método hidrológico-hidráulico utiliza tres fuentes de información básicas para su desarrollo. La información meteorológica y el estudio de la escorrentía, que son el fundamento del modelo hidrológico y una topografía de muy alto detalle que es la base del modelo hidráulico. La obtención de estos datos es

fundamental para que el método funcione correctamente y es, por tanto, su mayor limitación. Los datos meteorológicos existentes son, en general, los proporcionados por el I.N.M. y su validez es discutible para la información proveniente de la mayor parte de las estaciones meteorológicas, presentando en numerosas ocasiones discontinuidades en la serie de datos. La ubicación de estas estaciones meteorológicas está además restringida en la gran mayoría de los casos a zonas pobladas y situadas en la parte baja de los valles, de tal forma que los datos presentan un gran sesgo en este sentido. Esta incertidumbre sobre la calidad y validez de los datos de lluvia se refleja por tanto en los resultados de este tipo de estudios.

El estudio de la escorrentía presenta menos problemas al alimentarse de información que puede ser adquirida con mayor facilidad, por lo menos para la mayoría de los datos necesarios que principalmente son: clasificaciones hidrológicas, usos y pendiente del suelo. Los caudales obtenidos por el modelo hidrológico alimentan el modelo hidráulico. Este último calcula la altura y extensión de la lámina de agua correspondiente a un determinado caudal, con una fiabilidad que es directamente proporcional a la calidad de la topografía disponible para esa zona. Esto es la principal limitación del método y que hace muy difícil su aplicación en estudios regionales. En cambio, para estudios locales donde la topografía y la información meteorológica sean de calidad, su fiabilidad es muy elevada.

En el presente trabajo se pretende aplicar la metodología hidrológica-hidráulica en una pequeña zona de la cuenca del Cubia, con el objetivo principal de comparar los resultados obtenidos mediante este modelo con los obtenidos mediante el análisis geomorfológico. Se pretende establecer una relación entre las clases de zonificación geomorfológica de áreas inundables y los periodos de retorno, de modo que estas puedan ser equiparadas en cierta medida. Este tipo de estudios se pretende realizar en otras cuencas de características diferentes, de modo que los resultados puedan ser calibrados en situaciones geomorfológicas diferentes.

2. ZONA DE ESTUDIO

La subcuenca elegida para el desarrollo del estudio hidrológico es la del río Cubia, concretamente a partir de una zona próxima al pueblo de Villanueva, motivo por el cual la denominaremos subcuenca de Villanueva. La principal razón para elegirla es porque se trata de una subcuenca de tamaño medio (136 km²) en la que no existen presas ni aportes de otras cuencas aguas arriba, lo que facilita su estudio. Dentro de esta subcuenca se ha seleccionado una pequeña área (1.7 km²) sobre la que se realizará el estudio hidráulico (Figura 44).



Figura 44.
Proporciones de los tipos de zonas torrenciales cartografiadas.

Las características de la cuenca son:

- El relieve de la zona es bastante montañoso, presentado un rango de elevaciones que varía entre 80 y 1450 m., además el 62 % del territorio tiene más de 20° de pendiente.
- Desde el punto de vista climático el Cobia se encuentra en una zona con precipitaciones medias (1000-1500 mm) y temperaturas máximas y mínimas (14-18 °C y 4-8 °C respectivamente) anuales moderadas dentro del contexto de la región (Felicísimo 1994; Marquínez et al., 2003).
- Geológicamente la zona se encuentra en la Región de Pliegues y Mantos y está formada principalmente por rocas de edad paleozoica (Aramburu y Bastida, 1995).
- Los usos del suelo principales son masas forestales (62 %) y praderas (30%) (Proyecto Corine Land Cover 2000, Joint Research Centre, European Commission).

3. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico planteado en el presente estudio tiene como objetivo principal determinar los caudales punta correspondientes a diferentes periodos de retorno de precipitación para la zona donde se realizará el estudio hidráulico. Para ello se desarrollará un modelo hidrológico agregado en subcuencas mediante la aplicación HEC-HMS (USACE 2000; USACE 2001), la cual permite simular el proceso precipitación-escorrentía proporcionando el hidrograma de avenida.

Este software ha sido elegido por varias razones. Por un lado, su utilización es habitual a nivel mundial, tanto en estudios de investigación como en trabajos aplicados, permitiendo confiar en su validez y facilitando la comparación de resultados con los obtenidos en otras zonas del planeta. Además; esta aplicación tiene su continuación hidráulica en el software HEC-RAS (USACE 2002a), lo que junto con las extensiones HEC-GeoHMS (USACE 2003) y HEC-GeoRAS (USACE 2002b), sirven de enlace con el software SIG ArcView (Esri Inc) y facilitan enormemente el trabajo al integrar todos los aspectos del estudio. Por último, es relevante que este software y sus extensiones son gratuitos y de libre distribución.

El estudio hidrológico se plantea en varios pasos sucesivos:

- Análisis del terreno.
- Cálculo de la escorrentía y precipitación, utilizando modelos de transformación precipitación-escorrentía y del enrutamiento de esta última.
- Integración de los factores en el HEC-HMS y obtención de los hidrogramas de avenida.

3.1. ANÁLISIS DEL TERRENO Y MODELO DE CUENCA

En este capítulo se aborda la construcción de los modelos digitales necesarios para el estudio y la creación de la red de drenaje y de las subcuencas del modelo agregado.

3.1.1. MODELOS DIGITALES DEL TERRENO

Existen numerosos estudios (Krysanova et al., 1998; Lacroix et al., 2002; Vanacker et al., 2003) que ponen de manifiesto la gran importancia de utilizar un buen modelo digital del terreno, que sea capaz de caracterizar la mayoría de las formas del relieve que tengan importancia en hidrología. La bondad del modelo digital se evalúa mediante una estimación del error del mismo y su validez para un estudio hidrológico se fundamenta en la resolución, es decir, en el tamaño de celda del modelo. En este trabajo se utilizarán modelos digitales con una resolución de 10 m.

El modelo digital del terreno que primero ha de ser desarrollado y que servirá de base para derivar el resto de modelos necesarios es el de elevaciones, en adelante MDE. Los datos de partida para su construcción han sido extraídos del Mapa Topográfico de escala 1:5000 (con curvas de nivel cada 5 m) del Principado de Asturias (Gobierno del Principado de Asturias, 1996). Este modelo ha sido “corregido hidrológicamente”, es decir, se ha procedido al relleno de los hoyos que se ha comprobado que eran un artefacto en la interpolación del modelo y que podrían crear áreas endorreicas no reales o cortar el trazado natural de la lámina de agua sobre el terreno. Todo el proceso se ha realizado mediante el software SIG ArcInfo 8.3 (Esri Inc).

El MDE utiliza el sistema de proyección UTM de la zona 30 y el esferoide internacional de 1909. Constituye una malla regular formada por 8440 filas y 21614 columnas que cubre todo el territorio regional.

Son varios los métodos que se suelen utilizar para establecer el grado de error de un MDE generado a partir de curvas de nivel y de puntos acotados. En este trabajo se ha realizado una medida del error en:

- La *precisión* del modelo-
- La *exactitud* del modelo.

La *precisión* del MDE generado indica el nivel de error que éste presenta respecto a los datos de origen con los que ha sido construido, o respecto a otros datos de la misma fuente y que han sido reservados para la medición de este tipo

de error, y por tanto, no han sido utilizados en el desarrollo del modelo. La *precisión* mide por tanto el nivel de ajuste del modelo a los datos de partida con los que éste ha sido generado.

La *precisión* del MDE en este estudio se ha cuantificado de dos maneras:

1. Midiendo el *error medio absoluto* (EMA), el *error cuadrático medio* (ECM), la *raíz del error cuadrático medio* (RECM) y el *sesgo* respecto a una serie de puntos acotados obtenidos de la misma fuente que los utilizados en la construcción del modelo, pero que no han intervenido en el desarrollo del mismo.

Las ecuaciones que determinan estos parámetros son las siguientes:

$$\text{Error medio absoluto: } EMA = \sum_{i=1}^N \frac{|P_i - O_i|}{N} \quad (1)$$

$$\text{Error cuadrático medio: } ECM = \sum_{i=1}^N \frac{(P_i - O_i)^2}{N} \quad (2)$$

$$\text{Raíz del error cuadrático medio: } RECM = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(P_i - O_i)^2}{N}} \quad (3)$$

$$\text{Sesgo: } sesgo = \sum_{i=1}^N \frac{(P_i - O_i)}{N} \quad (4)$$

En la Tabla 8 se presentan los resultados del análisis del error en la precisión del MDE generado, respecto a los puntos acotados de control reservados para la medida del error.

	Resolución (m)	EMA (m)	ECM (m)	RECM (m)	SESGO (m)
MDE	10	2,1	41,92	6,47	-0,65

Tabla 8. Resultados de los análisis de error en la precisión del MDE. Comparación con puntos acotados de control reservados para la medida del error. EMA = error medio absoluto, ECM = error cuadrático medio, RECM = raíz del error cuadrático medio

2. El MDE debe de tener patrones morfológicos realistas, es decir, debe de contener un número de artefactos pequeño en relación al conjunto de datos. Este punto ha sido evaluado positivamente de una forma visual.

La *exactitud* del modelo generado indica el nivel de error que éste presenta en lugares donde los valores de elevación son conocidos con una gran precisión. Se suele cuantificar por comparación con modelos de elevación obtenidos con otras técnicas más precisas, tales como análisis fotogramétricos o sistemas GPS de alta precisión.

En este estudio, la *exactitud* del MDE se ha cuantificado midiendo el *error medio absoluto* (EMA), el *error cuadrático medio* (ECM) y el *sesgo* respecto a un modelo de alta precisión obtenido mediante un sistema LIDAR en dos pequeñas áreas del territorio, una situada en la costa y otra en una llanura de inundación del interior (Figura 45).

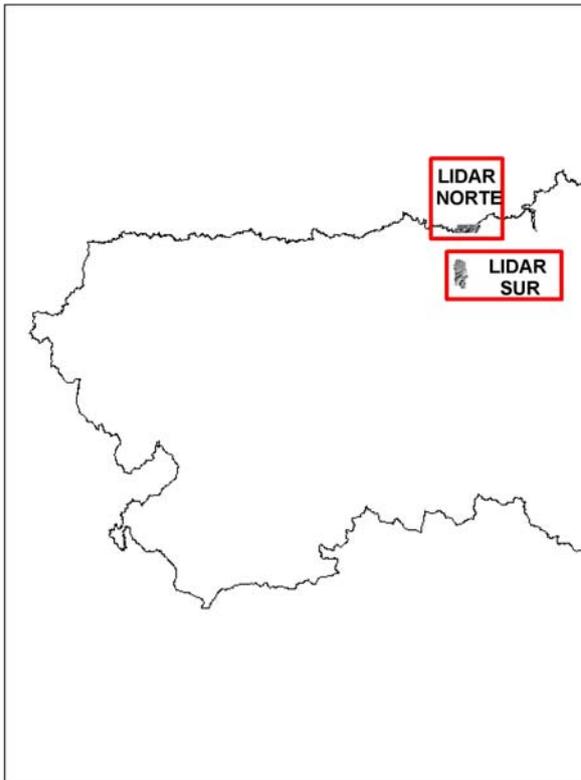


Figura 45. Zonas en las que se ha medido el error con los modelos LIDAR.

En la Tabla 9 se presentan los resultados del análisis del error en la exactitud del MDE generados respecto al modelo LIDAR.

	Resolución (m)	EMA (m)	ECM (m)	RECM (m)	SESGO(m)
Zona LIDAR NORTE. Área costera.					
MDE	10	1,81	5,85	2,42	0,35
Zona LIDAR SUR. Área de interior.					
MDE	10	2,01	8,77	2,96	-0,97

Tabla 9. Resultados de los análisis de error en la precisión del modelo. Comparación con puntos acotados obtenidos del sistema de alta resolución LIDAR. EMA = error medio absoluto, ECM = error cuadrático medio.

A partir del MDE se han generado otra serie de modelos digitales del terreno que serán necesarios en el estudio:

- *Modelo digital de dirección de flujo (MDF)*. Se ha generado mediante la función `flowdirection()` del módulo `grid` de ArcInfo 8.3. Esta función (Greenlee 1987; Jenson & Domingue 1988) utiliza el MDE para encontrar la dirección de mayor pendiente para cada celda y así determinar la dirección que seguirá el agua. El algoritmo que determina esto es el siguiente:

$$caída = cambioenZ / distancia \times 100 \quad (5)$$

Si la pendiente respecto a todas las celdas vecinas es la misma, la función aumenta la distancia de búsqueda hasta que se encuentra una pendiente mayor. En el caso de que todas las celdas vecinas tengan mayor altitud que la celda a procesar, se considera que existe ruido y se rellenará hasta el mínimo encontrado, fluyendo a través de dicha celda.

- *Modelo digital de flujo acumulado (MDFA)*. Calcula el flujo acumulado en cada celda, generado a partir del peso acumulado de todas las celdas que drenan a ella según la dirección de flujo definida por el MDF. Para construirlo se utiliza la función `flowaccumulation()` (Jenson and Domingue 1988; Tarboton et al. 1991) del módulo `grid` de ArcInfo 8.3.
- *Modelo digital de red hidrográfica (MDR)*. Se ha construido a partir del MDFA indicando un umbral mínimo de 4000 celdas, es decir, 0.4 km² de área drenante a partir de la cual se considera que una celda constituye parte de la red. Este modelo se ha generado mediante la extensión HEC-GeoHMS para ArcView 3.2. Este umbral se ha determinado por el procedimiento de “ensayo y error” de modo que se ha elegido un modelo que, simplificando la red de drenaje natural, más se asemeja a ella.
- *Modelo digital de subcuencas (MDS)*. A partir del MDE y del MDR se genera este modelo, que será la unidad mínima de agregación de datos en el modelo hidrológico. También se ha generado mediante la extensión HEC-GeoHMS para ArcView 3.2.

En la Figura 46 se presenta el MDS y el MDR sobre el MDE para la cuenca del Cubia.

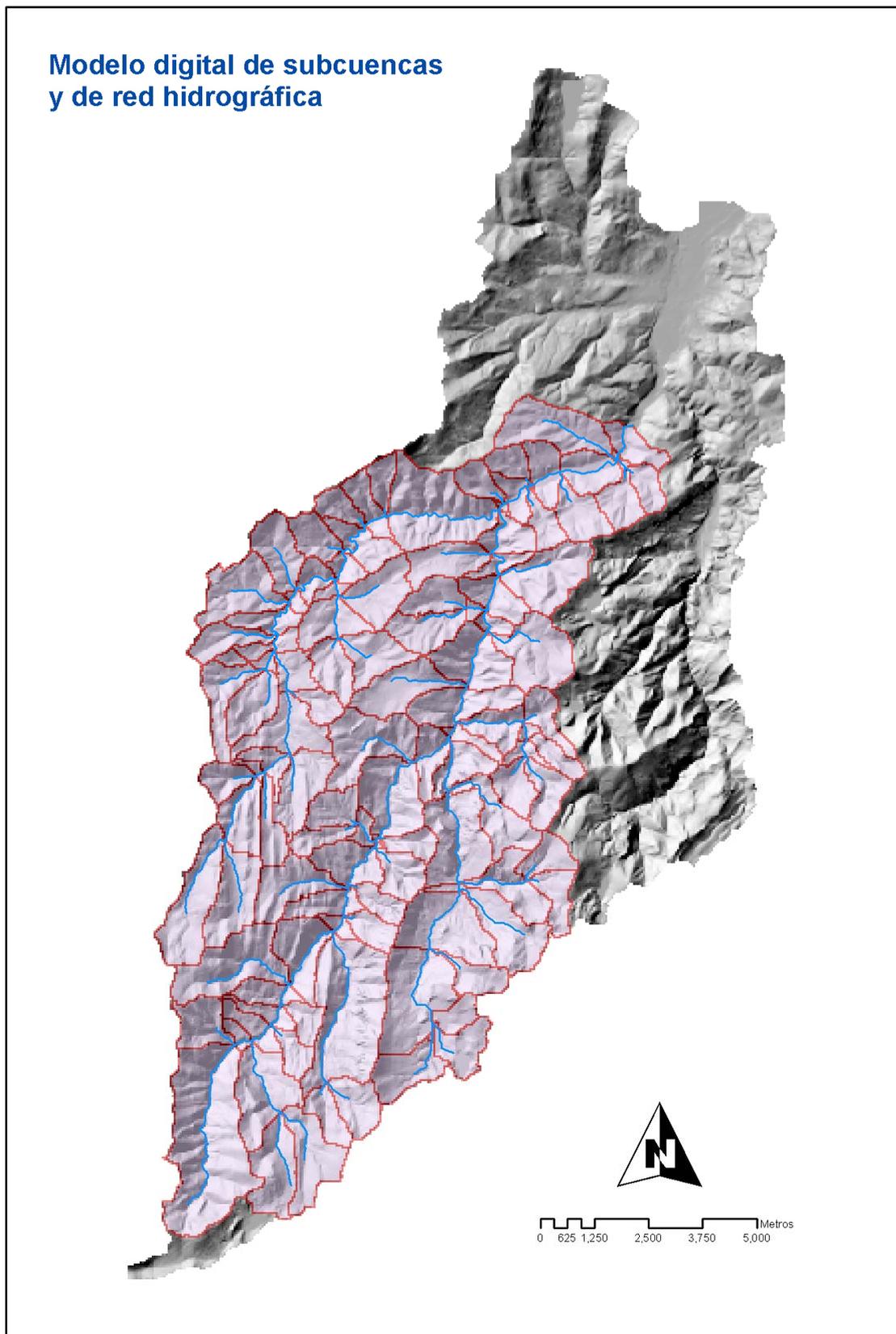


Figura 46. Modelo digital de subcuencas (MDS) y de red hidrogrática (MDR) para la subcuenca de Villanueva.

3.1.2. PARÁMETROS FÍSICOS E HIDROLÓGICOS

A partir de los modelos generados se han extraído algunos parámetros físicos e hidrológicos de interés acerca de:

- **La red hidrográfica.** Utilizando el modelo digital de red hidrográfica generado se han extraído los valores para cada tramo fluvial de: cota máxima y mínima, longitud y pendiente media. Los resultados se presentan en la Tabla 10.
- **Las subcuencas.** A partir del MDS y del MDR se ha calculado para cada subcuenca el valor de la mayor longitud de flujo posible, lo que ha permitido estimar la posición del centroide en cada una (Figura 47). Este valor también ha sido utilizado para calcular el valor del tiempo de concentración para cada subcuenca, según lo expresado por Témez en la siguiente expresión:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (6)$$

TRAMO	COTA1	COTA2	LONGITUD	PENDIENTE	TRAMO	COTA1	COTA2	LONGITUD	PENDIENTE
R420	296	100	2,2	0,089	R1100	462	237	1,8	0,128
R430	99	89	0,9	0,011	R1110	523	462	0,5	0,131
R440	100	99	0,2	0,004	R1120	249	237	0,4	0,028
R450	137	99	0,4	0,094	R1150	266	249	1,1	0,016
R460	111	100	1,6	0,007	R1160	341	249	1,5	0,062
R470	229	137	0,3	0,323	R1170	535	266	1,7	0,156
R480	195	137	0,3	0,221	R1180	610	523	0,5	0,163
R490	120	111	0,7	0,013	R1190	528	523	0,1	0,253
R500	252	111	0,9	0,158	R1200	510	470	0,8	0,048
R520	160	120	0,2	0,17	R1210	583	470	1	0,112
R540	120	120	0,1	0,004	R1220	680	610	0,6	0,119
R550	130	120	0,8	0,013	R1230	722	610	0,8	0,143
R560	223	120	0,6	0,182	R1240	339	266	2,4	0,03
R570	222	130	0,5	0,172	R1250	530	510	0,2	0,084
R580	130	130	0,2	0,004	R1260	716	510	1,2	0,176
R590	150	130	1,3	0,016	R1270	628	530	0,6	0,174
R600	239	198	0,2	0,183	R1280	732	530	1,9	0,104
R610	198	130	3,3	0,021	R1290	757	341	1,8	0,236
R620	211	198	0,7	0,019	R1300	545	341	2,6	0,08
R630	276	211	0,3	0,255	R1350	485	451	0,2	0,185
R640	250	211	1,4	0,027	R1360	528	451	0,3	0,224
R650	434	315	1,2	0,097	R1370	340	339	0,1	0,008
R660	340	250	0,4	0,222	R1380	363	339	0,1	0,162
R690	275	250	0,8	0,031	R1390	851	732	2,3	0,052
R700	170	150	0,8	0,024	R1400	816	732	1,9	0,044
R710	391	150	1,3	0,187	R1410	451	340	0,8	0,144
R740	353	170	1,5	0,124	R1420	345	340	0,2	0,029
R750	176	170	1	0,006	R1430	385	345	1,4	0,029

TRAMO	COTA1	COTA2	LONGITUD	PENDIENTE	TRAMO	COTA1	COTA2	LONGITUD	PENDIENTE
R760	315	275	1,3	0,03	R1440	461	345	0,6	0,199
R770	295	275	0,4	0,045	R1450	930	835	0,5	0,202
R780	385	295	1,2	0,078	R1460	835	545	1,9	0,156
R790	325	315	0,4	0,024	R1470	919	835	0,3	0,257
R800	436	325	1,7	0,067	R1480	795	385	1,9	0,218
R810	345	295	1,1	0,046	R1490	551	545	0,2	0,033
R840	350	270	0,6	0,145	R1500	434	385	0,2	0,2
R850	360	325	1,2	0,03	R1510	385	385	0,1	0,004
R870	430	270	1,3	0,128	R1520	412	385	0,7	0,037
R880	270	176	0,6	0,16	R1530	1055	551	2,1	0,241
R900	190	176	0,6	0,024	R1540	615	551	1,9	0,034
R910	216	190	1,6	0,016	R1550	425	412	0,5	0,024
R920	517	190	1,6	0,201	R1560	478	412	0,3	0,197
R930	506	360	1,2	0,117	R1570	481	425	2	0,029
R940	385	360	0,5	0,051	R1580	890	425	4,2	0,111
R950	382	345	0,3	0,11	R1590	1050	615	1	0,445
R980	405	385	0,5	0,038	R1600	915	615	2	0,151
R990	425	385	1,2	0,035	R1610	899	481	2,7	0,153
R930	506	360	1,2	0,117	R1620	501	481	0,6	0,035
R940	385	360	0,5	0,051	R1630	532	501	0,6	0,048
R950	382	345	0,3	0,11	R1640	537	501	0,1	0,421
R980	405	385	0,5	0,038	R1650	915	915	0,3	0,004
R990	425	385	1,2	0,035	R1660	915	915	0,1	0,004
R930	506	360	1,2	0,117	R1670	976	915	1,5	0,042
R940	385	360	0,5	0,051	R1680	986	915	1	0,07
R950	382	345	0,3	0,11	R1690	687	532	0,4	0,377
R980	405	385	0,5	0,038	R1700	565	532	0,7	0,048
R990	425	385	1,2	0,035	R1710	755	605	0,7	0,225
R1000	461	345	1,1	0,11	R1720	605	565	0,5	0,086
R1010	524	405	1,3	0,09	R1730	911	565	2,1	0,164
R1020	465	405	1	0,063	R1740	1128	605	4,8	0,108
R1030	532	216	2	0,16	R1750	1030	890	0,8	0,177
R1040	237	216	1,1	0,02	R1760	931	890	0,4	0,1
R1050	460	425	0,3	0,117	R1770	1213	911	2	0,154
R1060	470	425	1,7	0,027	R1780	1140	911	1,6	0,139
R1090	536	462	0,5	0,16					

Tabla 10. Cada tramo de la red hidrográfica está identificado por su nombre. Se indican la cota máxima (cota1), la cota mínima (cota2) y la pendiente (m/m).

Además se han determinado los valores de cota máxima, mínima y pendiente media. Los resultados se presentan en la Tabla 11.

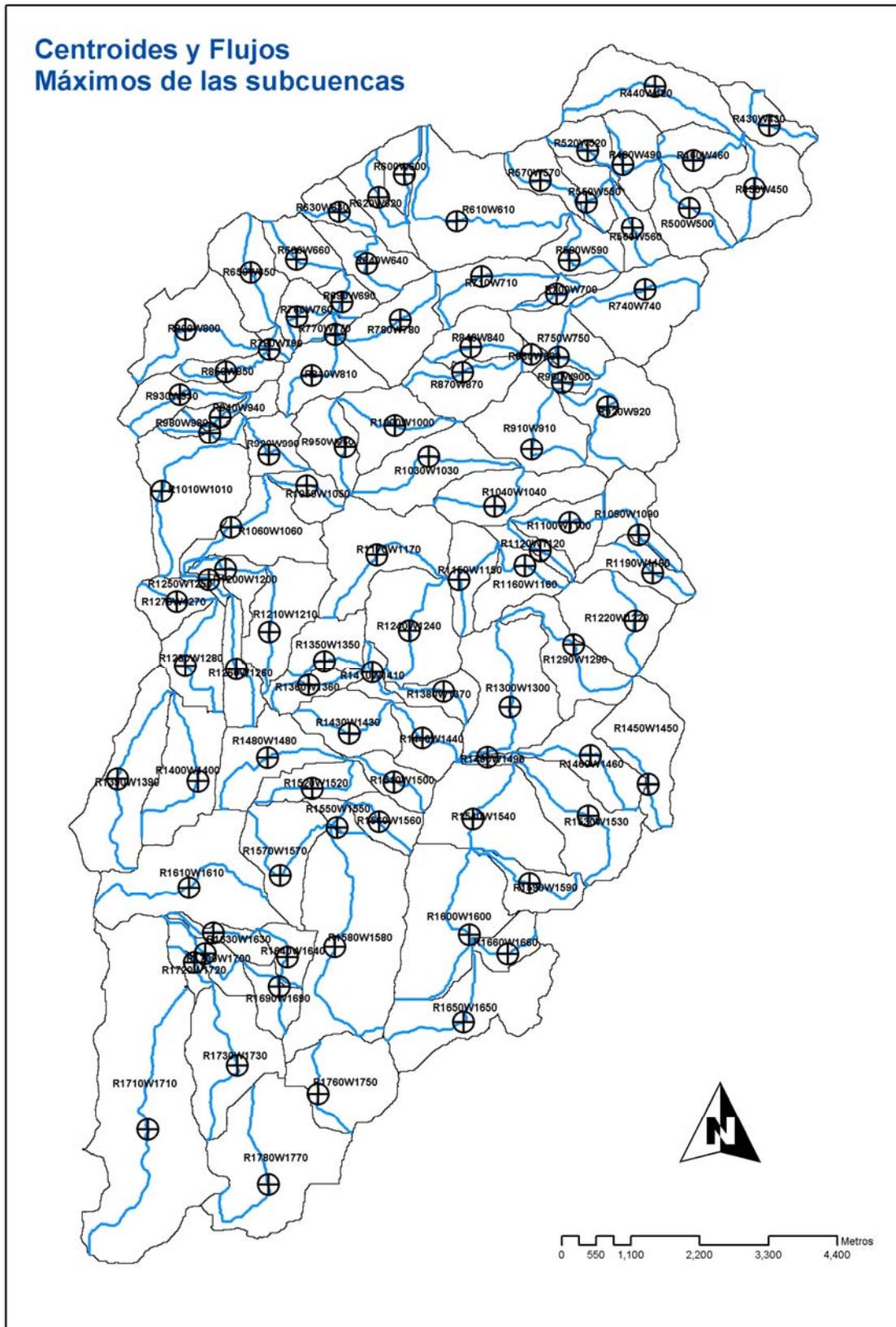


Figura 47. Modelo digital de subcuencas (MDS), longitud mayor posible y posición del centroide de cada subcuenca.

CUENCA	ÁREA	PERIM.	COTA1	COTA2	L	S	TCT
R430W430	0,9	5,8	306	89	1,9	0,113	0,7
R440W420	2,3	10,3	475	99	3,9	0,097	1,3
R450W450	1,7	7,3	590	99	2,1	0,239	0,7
R460W460	1,1	5,3	265	100	2,0	0,081	0,8
R490W490	1,0	5,5	397	111	1,5	0,189	0,6
R500W500	1,2	6,4	590	113	2,3	0,212	0,8
R520W520	0,7	5,2	529	120	1,5	0,27	0,5
R550W550	0,6	4,9	345	120	1,3	0,171	0,5
R560W560	0,7	5,5	507	120	1,9	0,2	0,7
R570W570	0,8	5,4	565	130	1,7	0,249	0,6
R590W590	0,9	5,7	463	130	2,0	0,166	0,7
R600W600	0,6	4,6	772	199	1,8	0,322	0,6
R610W610	3,7	10,7	779	130	4,9	0,133	1,5
R620W620	0,9	6,3	630	199	1,9	0,233	0,6
R630W630	0,7	4,7	691	213	1,6	0,299	0,5
R640W640	1,1	7,3	533	214	1,8	0,174	0,7
R650W650	1,5	6,8	803	315	2,2	0,223	0,7
R660W660	1,0	5,5	754	250	1,8	0,28	0,6
R690W690	0,5	3,6	472	250	1,2	0,189	0,5
R700W700	0,5	5,0	527	151	1,7	0,227	0,6
R710W710	1,4	7,2	552	153	2,8	0,145	0,9
R740W740	2,3	8,3	608	170	2,9	0,153	1,0
R750W750	1,1	6,1	573	170	2,0	0,2	0,7
R760W760	0,6	4,4	477	275	1,6	0,13	0,6
R770W770	0,2	3,2	406	275	0,9	0,148	0,4
R780W780	1,6	7,3	516	295	2,3	0,095	0,9
R790W790	0,2	2,5	477	315	0,8	0,192	0,3
R800W800	2,1	9,4	700	325	3,2	0,117	1,1
R810W810	1,3	6,7	501	295	2,1	0,098	0,8
R840W840	1,0	5,5	578	270	1,8	0,168	0,7
R850W850	0,7	5,5	599	325	2,1	0,133	0,8
R870W870	1,3	6,8	600	270	2,4	0,138	0,9
R880W880	0,1	2,8	428	176	0,8	0,298	0,3
R900W900	0,3	3,1	517	176	1,0	0,334	0,4
R910W910	2,0	7,7	644	190	2,4	0,193	0,8
R920W920	2,3	8,8	762	190	3,1	0,184	1,0
R930W930	1,0	6,8	671	360	2,6	0,119	0,9
R940W940	0,5	5,4	630	360	1,6	0,167	0,6
R950W950	1,1	6,1	735	347	2,0	0,198	0,7
R980W980	0,4	5,1	663	385	1,8	0,157	0,7
R990W990	0,8	5,2	609	385	1,7	0,133	0,7
R1000W1000	1,4	7,3	668	347	2,4	0,134	0,9
R1010W1010	2,8	9,3	859	405	3,5	0,129	1,1
R1030W1030	1,9	8,9	728	217	3,4	0,151	1,1
R1040W1040	1,7	8,2	621	216	2,3	0,175	0,8
R1050W1050	0,6	4,6	752	428	1,6	0,204	0,6
R1060W1060	1,8	9,2	821	426	2,7	0,145	0,9
R1090W1090	1,0	6,9	925	465	1,9	0,236	0,6
R1100W1100	1,0	6,0	705	237	2,2	0,209	0,7
R1120W1120	0,4	5,1	1127	611	1,6	0,373	0,5
R1150W1150	1,0	5,8	717	249	2,0	0,236	0,7
R1160W1160	1,1	6,3	825	249	1,8	0,321	0,6
R1170W1170	2,5	10,2	710	267	3,1	0,143	1,0

CUENCA	ÁREA	PERIM.	COTA1	COTA2	L	S	TCT
R1190W1180	0,9	6,7	977	525	1,8	0,251	0,6
R1200W1200	0,6	5,9	797	470	1,5	0,212	0,5
R1210W1210	1,7	7,9	790	470	2,4	0,135	0,9
R1220W1220	2,0	7,6	1127	611	2,1	0,247	0,7
R1240W1240	2,3	7,7	498	267	2,7	0,086	1,0
R1250W1250	0,2	2,8	822	510	1,0	0,321	0,4
R1260W1260	0,9	6,2	910	510	2,6	0,154	0,9
R1270W1270	0,8	4,9	895	531	1,5	0,244	0,5
R1280W1280	1,3	6,5	917	531	2,8	0,137	1,0
R1290W1290	1,5	9,5	1136	344	3,4	0,232	1,0
R1300W1300	2,7	9,7	826	342	3,4	0,142	1,1
R1350W1350	1,0	5,2	809	454	1,5	0,238	0,5
R1360W1360	0,7	5,3	820	456	2,1	0,17	0,7
R1380W1370	0,7	5,3	807	339	1,7	0,284	0,6
R1390W1390	2,6	10,6	1086	732	3,9	0,092	1,3
R1400W1400	2,0	8,2	1041	732	3,3	0,094	1,2
R1410W1410	0,4	4,2	628	340	1,2	0,237	0,5
R1430W1430	1,3	6,1	841	345	2,2	0,226	0,7
R1440W1440	1,0	5,4	830	345	1,7	0,282	0,6
R1450W1450	1,8	8,9	1258	836	1,9	0,218	0,7
R1460W1460	1,5	9,0	1196	546	2,9	0,224	0,9
R1480W1480	1,7	8,2	915	385	3,1	0,171	1,0
R1490W1490	0,1	2,6	832	546	1,0	0,279	0,4
R1510W1500	0,7	5,2	940	386	1,7	0,332	0,6
R1520W1520	0,9	5,8	849	385	2,3	0,205	0,8
R1530W1530	2,1	9,2	1326	553	3,3	0,235	1,0
R1540W1540	2,7	8,8	1070	552	2,6	0,197	0,8
R1550W1550	0,3	3,7	716	412	1,1	0,269	0,4
R1560W1560	0,7	4,5	998	412	1,6	0,377	0,5
R1570W1570	1,7	7,7	865	425	2,8	0,159	0,9
R1580W1580	5,1	13,3	1358	425	4,9	0,19	1,4
R1590W1590	0,9	6,4	1306	615	2,5	0,28	0,8
R1600W1600	3,3	9,9	1320	615	3,8	0,184	1,1
R1610W1610	3,5	11,7	1136	481	3,9	0,169	1,2
R1630W1630	0,5	5,5	1009	503	1,8	0,288	0,6
R1640W1640	0,6	4,3	897	504	1,6	0,24	0,6
R1650W1650	2,6	12,1	1356	915	2,4	0,151	0,8
R1660W1660	0,6	4,3	1303	915	1,3	0,293	0,5
R1690W1690	0,7	4,9	1047	533	1,8	0,289	0,6
R1700W1700	0,7	5,8	1023	532	2,1	0,233	0,7
R1710W1710	8,0	19,4	1435	605	5,8	0,144	1,6
R1720W1720	0,3	3,6	905	567	1,1	0,311	0,4
R1730W1730	2,4	9,1	1337	568	3,3	0,235	1,0
R1760W1750	2,1	7,3	1390	892	2,0	0,254	0,7
R1780W1770	3,9	11,6	1415	913	3,6	0,139	1,2

Tabla 11. Cada subcuenca está identificada por su nombre. Se indican la cota máxima (cota1) y la cota mínima (cota2) expresados en m; la pendiente (S) expresada en m/m; la longitud máxima de flujo

3.1.3. MODELO DE CUENCA DE HEC-HMS

El HEC-HMS requiere que se especifiquen los parámetros y elementos hidrológicos mediante un esquema topológico denominado *modelo de cuenca*.

Los tipos de elementos que son necesarios indicar se refieren a las entidades subcuena, cruce, reservorio, fuente, retención y los tramo y su tipo de conexión.

En la Figura 48 se muestra el esquema hidrológico para la subcuena de Villanueva. Se muestra la distribución de las 99 subcuencas, los cruces considerados y los tramos y su tipo de conexión.

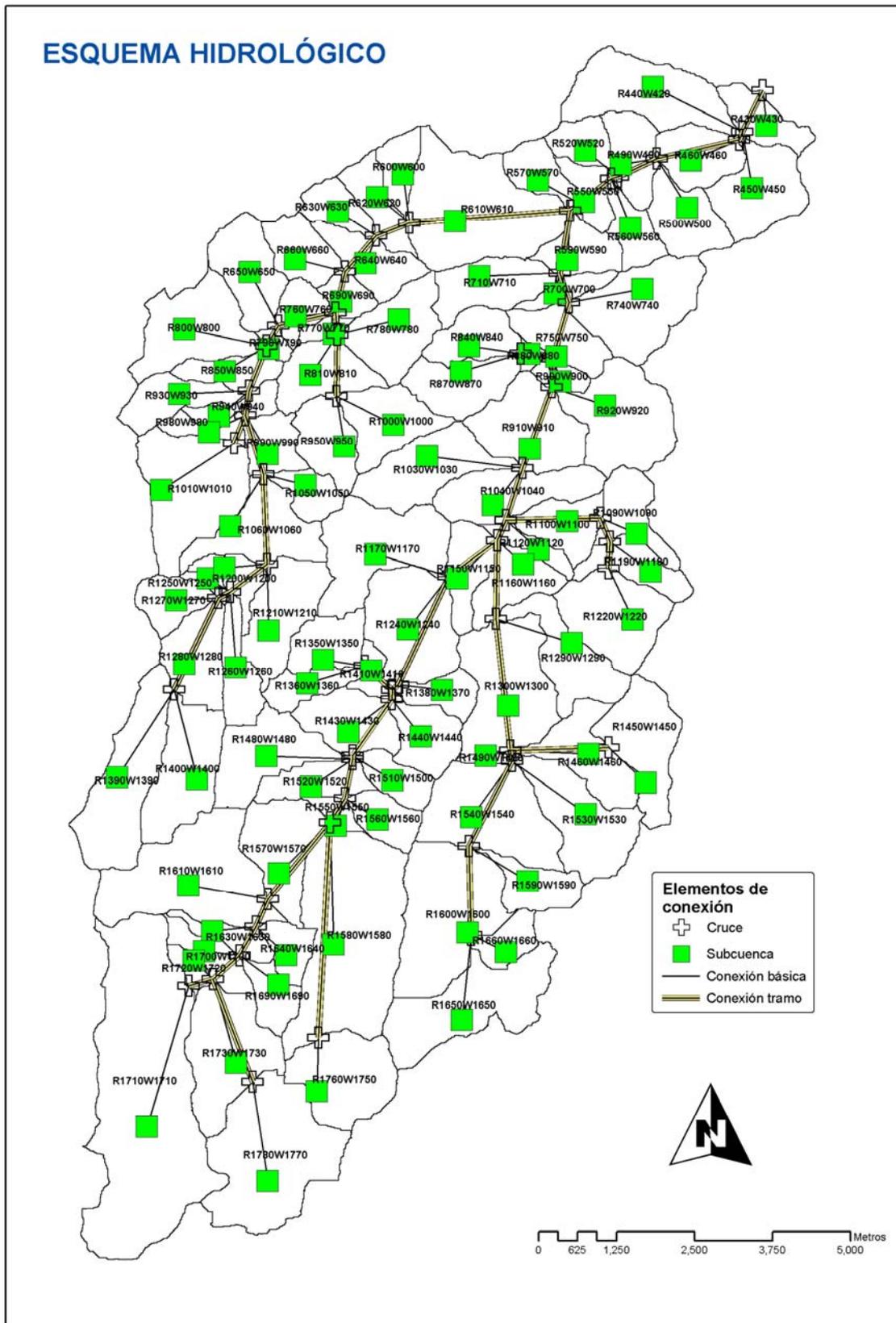


Figura 48. Esquema hidrológico de la subcuenca de Villanueva.

3.2. ESCORRENTÍA: EL NÚMERO DE CURVA

Un parámetro fundamental a estimar en el estudio hidrológico es la cantidad de infiltración que se produce en cada evento. Para calcular este valor se ha decidido aplicar el modelo del número de curva (SCS 1986) de Estados Unidos, que es esencialmente un indicador de cuánta lluvia fluye por escorrentía superficial, de forma que a mayor número de curva mayor será la cantidad de escorrentía. Las razones para utilizar este modelo y no otro son diversas, algunas de ellas han sido ya puestas de manifiesto por Ferrer (2003) en su tesis doctoral:

- El modelo lleva muchos años siendo utilizado en ambientes muy diversos, por lo que su eficacia está suficientemente probada, siendo un método utilizado tanto en modelos hidrológicos como en modelos de erosión, de calidad de aguas, para diseño de estructuras, etc.
- Requiere pocas variables para su estimación y de fácil obtención.
- Se aplica muy frecuentemente a estudios hidrológicos en España.
- Pese a su sencillez, genera modelos similares a otros más complejos.
- Se adecua muy bien al tipo de escorrentía que se produce en la zona de estudio.
- Es un modelo diseñado para aplicarse de forma agregada, como en este caso, aunque se ha comprobado que también funciona correctamente en estudios distribuidos (Francés y Benito, 1995).

La estimación del parámetro número de curva pasa por la determinación del *grupo hidrológico del suelo* (clasificación ABCD del SCS), del *uso del suelo* (según la clasificación establecida por el SCS) y de la *pendiente* (mayor y menor del 3%). Estos parámetros se relacionan de forma tabular, como se muestra en la Tabla 12.

Hay otras variables que son más difíciles de obtener y que no suelen ser incorporadas al cálculo del número de curva como: *condiciones hidrológicas* (describe la condición hidrológica en función de la cobertura vegetal y del uso que se da a ese suelo); *prácticas de cultivo* (agrupa las áreas de cultivo en función de la técnica de cultivo: siguiendo la máxima pendiente, siguiendo la curva de nivel, en áreas aterrazadas o mediante residuos) y *condiciones previas*

de humedad del suelo (se determina la lluvia caída en los últimos cinco días y el estado del suelo).

USOS DEL SUELO	PENDIENTE	A	B	C	D
Barbecho R	≥ 3	77	86	89	93
Barbecho N	≥ 3	75	82	86	89
Barbecho R/N	<3	72	78	82	86
Cultivos en hilera R	≥ 3	69	80	86	89
Cultivos en hilera N	≥ 3	67	76	82	86
Cultivos en hilera R/N	<3	64	73	78	82
Cereales de invierno R	≥ 3	64	75	84	86
Cereales de invierno N	≥ 3	61	73	81	84
Cereales de invierno R/N	<3	60	71	78	81
Rotación de cultivos pobres R	≥ 3	66	77	85	89
Rotación de cultivos pobres N	≥ 3	64	75	82	86
Rotación de cultivos pobres R/N	<3	63	73	80	84
Rotación de cultivos densos R	≥ 3	58	72	81	85
Rotación de cultivos densos N	≥ 3	55	69	78	82
Rotación de cultivos densos R/N	<3	52	67	76	80
Pradera pobre	≥ 3	68	78	86	89
Pradera media	≥ 3	49	69	78	85
Pradera buena	≥ 3	42	61	74	80
Pradera muy buena	≥ 3	39	55	70	77
Pradera pobre	<3	47	67	81	88
Pradera media	<3	39	59	75	84
Pradera buena	<3	30	48	70	78
Pradera muy buena	<3	17	34	67	76
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	≥ 3	45	66	77	84
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal medio	≥ 3	39	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal bueno	≥ 3	34	55	70	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	<3	40	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal medio	<3	35	55	70	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal bueno	<3	25	50	67	76
Masa forestal (bosques, monte bajo,...) muy clara		56	75	86	91
Masa forestal (bosques, monte bajo,...) clara		46	68	78	84
Masa forestal (bosques, monte bajo,...) media		40	60	70	76
Masa forestal (bosques, monte bajo,...) espesa		36	52	62	69
Masa forestal (bosques, monte bajo,...) muy espesa		30	44	54	61
Rocas permeables	≥ 3	94	94	94	94
Rocas permeables	<3	91	91	91	91
Áreas impermeables	≥ 3	96	96	96	96
Áreas impermeables	<3	93	93	93	93

Tabla 12. Número de curva para condiciones medias de humedad

3.2.1. GRUPOS HIDROLÓGICOS DEL SUELO

El SCS establece grupos hidrológicos en función de la tasa de infiltración tras un periodo húmedo prolongado (NCRS, 1999). Los parámetros que influirán a la hora de asignar un suelo a un grupo u otro serán la conductividad hidráulica, la presencia de capas impermeables o un elevado nivel freático.

Los cuatro grupos hidrológicos definidos son los siguientes:

- Grupo A. Alta tasa de infiltración. Suelos profundos con gravas o arenosos. De bien a excesivamente drenados. Velocidad de transmisión elevada. Nivel freático permanente a una profundidad mayor de 150 cm.
- Grupo B. Tasa moderada de infiltración. Medianamente profundos a profundos. Textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa. De moderadamente bien drenados a bien drenados. Velocidad de transmisión moderada. Nivel freático a una profundidad mayor de 60 cm.
- Grupo C. Tasa lenta de infiltración. Tienen alguna capa impermeables que impide el movimiento vertical. Textura de moderadamente fina a fina. Velocidad de transmisión lenta. Nivel freático a una profundidad mayor de 60 cm.
- Grupo D. Tasa muy baja de infiltración. Suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Materiales arcillosos. Velocidad de transmisión muy lenta. Nivel freático a una profundidad menor de 60 cm.

Esta última variable es la que suele presentar mayores dificultades para su incorporación debido a la escasez de cartografías edafológicas, la variabilidad existente en el tratamiento de los datos edafológicos, la falta de datos hidrológicos asociados a las cartografías existentes y a la descripción de los grupos según el SCS. Esto hace que la inclusión de un suelo en alguno de estos grupos se realice generalmente de forma cualitativa, y tan solo se realiza cuantitativamente cuando se dispone de información de tasas de infiltración en base al establecimiento de equivalencias entre los grupos hidrológicos y los valores de conductividad hidráulica saturada (K_s) o las clases texturales.

En España se carece de una cartografía homogénea de suelos en las que estén determinadas las equivalencias con los grupos hidrológicos, por lo que la mayor parte de las veces se aplica el método utilizando datos litológicos (Camarasa, 1995; Francés y Benito, 1995.) y estableciendo una relación con los grupos hidrológicos de forma cualitativa, mediante clases texturales (Témez 1987; MOPT 1992; Martínez de Azagra y Navarro Hevia 1995) o mediante

curvas de edafotransferencia (Bruma 1989; Wösten et. al. 1998; Martínez y Ceballos 2001; Ferrer 2003).

La clasificación en grupos hidrológicos ABCD para el área de estudio se ha realizado a partir de la información litológica, de recubrimientos superficiales y de roquedos de la Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias (CTAPA) de escala 1:25000, así como del Modelo Digital de Elevaciones y del Modelo Digital de Espesores que se explicará más adelante, ambos con tamaño de celda de 10 m y desarrollados para este proyecto.

La clasificación litológica inicial se basa en el conocimiento de la geología regional y en los valores de conductividad hidráulica obtenidos experimentalmente. Esta información se combina con el Modelo Digital de Espesores, de modo que podremos estimar la potencia del suelo existente sobre cada litología y diferenciar de este modo zonas con un comportamiento hidrológico diferente. Para la construcción de este modelo se ha modelizado una variable denominada CTI (Compound Topographic Index) que es un índice topográfico combinado o también llamado índice de humedad en estado constante. Este valor adimensional es función del área vertiente a cada celda, obtenida a partir del modelo de flujo acumulado y del modelo digital de pendientes expresado en radianes. Se determina mediante la siguiente expresión:

$$CTI = \ln\left(\frac{As}{\tan(beta)}\right) \quad (7)$$

donde

As representa el área vertiente a cada celda y se determina mediante la expresión:

$$As = (MDF + 1) \times A \quad (8)$$

donde MDF es el valor en cada píxel del Modelo de Flujo Acumulado y A es el área de cada píxel en m^2 .

Beta es el valor del Modelo Digital de Pendientes en cada píxel expresado en radianes.

Para facilitar el cálculo de este índice se ha utilizado la rutina *cti.aml* para ArcInfo Workstation (ESRI 2002) creada por el USDA Forest Service (Evans 2004). Este índice (Figura 49) está diseñado para ser utilizado en laderas, de forma que ante situaciones de pendiente menor del 3%, el valor de CTI será muy elevado y no deberá de ser tenido en cuenta.

Dado que el valor del índice CTI y el espesor del suelo están altamente correlacionados ($r = 0.55$: Moore et al. 1993), se utiliza su valor en cada celda para calcular el Modelo Digital de Espesores. Para ello se ha utilizado la siguiente expresión (Fernández y Marquínez, 2003):

$$MDEspesores = 74.415 - 1.2975 \times MDP + 1.444 \times CTI \quad (9)$$

donde MDP es el Modelo Digital de Pendientes expresado en grados y CTI es el Modelo Digital CTI.

Se ha demostrado que la ecuación 9 es la que mejor estima el valor del espesor en zonas de ladera en áreas similares a esta. Los resultados al aplicar directamente dicha ecuación en el área de estudio muestran un rango de valores de espesor que varía entre -28 y 113 cm., por lo tanto, se debe de reescalar el rango de valores para ajustarlo a la zona de estudio. Para ello utilizamos la siguiente expresión, que ajusta el rango a valores entre 0 y un valor máximo que se ha establecido para la zona de estudio en 100 cm., valor predicho por la función eliminando las zonas planas:

$$x_i = \frac{(x - X_{mínima})}{X_{máxima} - X_{mínima}} \times \text{nuevo_rango} \quad (10)$$

De este modo el rango de valores se ajustará de una forma más real al área de estudio. El modelo de espesores obtenido puede observarse en la Figura 50.

Una vez que hemos obtenido el modelo de espesores, este se reclasifica en 3 grupos:

- Menor de 50 cm.
- Entre 50 y 75 cm.
- Mayor de 75 cm.

La combinación de este modelo de espesores reclasificado y de la capa de litología nos permite generar una capa con una primera clasificación litológica y de espesores en grupos hidrológicos ABCD, tal y como se muestra en la Tabla 13. En el caso de las zonas planas (pendiente menor del 3% según el SCS), que suelen coincidir con llanuras aluviales en fondos de valle y con depresiones cársticas, no se ha obtenido una estimación del valor de espesor y se han asimilado al grupo al que le correspondería el mayor espesor en función de cada litología.

A continuación se han seleccionado de la CTAPA las formaciones superficiales que se indican en la Tabla 14 y se les ha asignado a un grupo hidrológico concreto, independientemente de la litología subyacente, en base a sus capacidades hidráulicas.

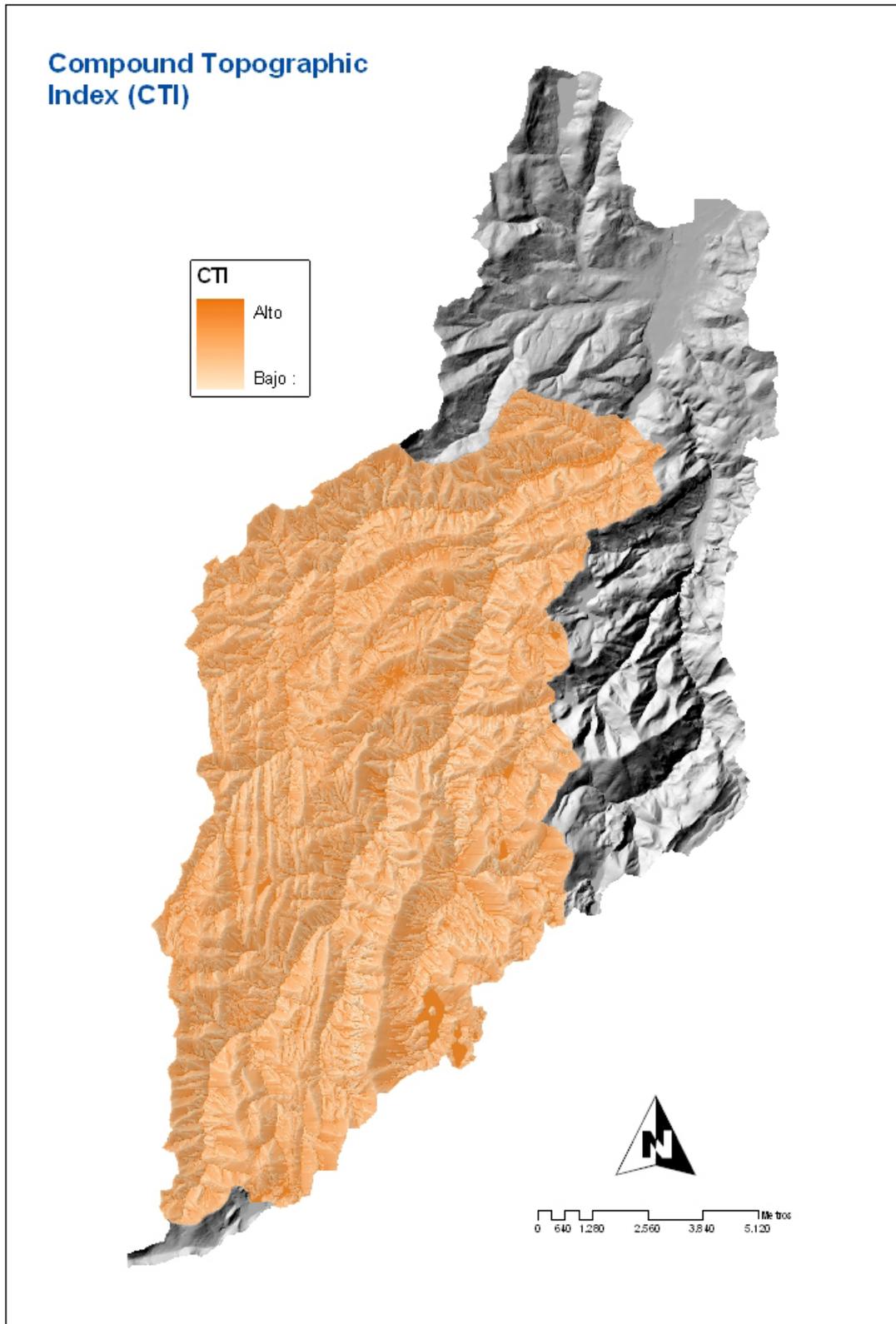


Figura 49. Modelo CTI (Compound Topographic Index) o Modelo de Humedad para la zona de estudio.

CLASIFICACIÓN LITOLÓGICA Y DE ESPESORES EN GRUPOS HIDROLÓGICOS ABCD
GRUPO A
Calizas del Carbonífero Superior con espesor menor de 75 cm.
Moniello – Santa Lucía con espesor menor de 75 cm.
Portilla – Candás con espesor menor de 75 cm.
Candamo - Baleas con espesor menor de 75 cm.
Alba con espesor menor de 75 cm.
Montaña con espesor menor de 75 cm.
Calizas de La Vid con espesor menor de 75 cm.
Láncara con espesor menor de 75 cm.
GRUPO B
Dolomías de La Vid con espesor menor de 50 cm.
Naranco – Hurgas con espesor menor de 50 cm.
Rañeces – La Vid con espesor menor de 50 cm.
Eoceno con espesor menor de 50 cm.
Oville con espesor menor de 50 cm.
Formigoso con espesor menor de 50 cm.
S.Emiliano – Olleros con espesor menor de 50 cm.
Pizarras de La Vid con espesor menor de 50 cm.
GRUPO C
Dolomías de La Vid con espesor mayor de 50 cm.
Naranco – Hurgas con espesor mayor de 50 cm.
Rañeces – La Vid con espesor mayor de 50 cm.
Eoceno con espesor mayor de 50 cm.
Oville con espesor mayor de 50 cm.
Formigoso con espesor mayor de 50 cm.
S.Emiliano – Olleros con espesor mayor de 50 cm.
Pizarras de La Vid con espesor mayor de 50 cm.
Cuaternario sobre formaciones mixtas.
GRUPO D
Barrios
Piñeres-Candás
Furada-S.Pedro
Calizas del Carbonífero Superior con espesor mayor de 75 cm.
Moniello – Santa Lucía con espesor mayor de 75 cm.
Portilla – Candás con espesor mayor de 75 cm.
Candamo - Baleas con espesor mayor de 75 cm.
Alba con espesor mayor de 75 cm.
Montaña con espesor mayor de 75 cm.
Calizas de La Vid con espesor mayor de 75 cm.
Láncara con espesor mayor de 75 cm.
Cuaternario sobre calizas o cuarcitas

Tabla 13. Clasificación hidrológica de la litología de la zona combinada con el espesor estimado por el Modelo Digital de Espesores.

CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS CON RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES EN GRUPOS HIDROLÓGICOS ABCD
Formaciones clásticas sin matriz
Terrazas fluviales
Depósitos aluviales
Rellenos turbosos
Rellenos de depresión cárstica

Tabla 14. Clasificación hidrológica de los recubrimientos superficiales de la zona.

La existencia de roquedos implica la existencia de un espesor reducido de material superficial, dependiendo de la litología del mismo. En base a esto se ha reclasificado la información de roquedos extraída de la CTAPA según lo indicado en la Tabla 15.

CLASIFICACIÓN DE LAS ÁREAS CON PRESENCIA DE ROQUEDOS EN GRUPOS HIDROLÓGICOS ABCD
GRUPO A
Roquedos sobre Moniello – Santa Lucía
Roquedos sobre Portilla – Candás
Roquedos sobre Candamo - Baleas
Roquedos sobre Montaña
Roquedos sobre Calizas de La Vid
Roquedos sobre Láncara
Roquedos sobre cuaternario sobre calizas
GRUPO B
Roquedos sobre Dolomías de La Vid
Roquedos sobre Naranco – Hurgas
Roquedos sobre Rañeces – La Vid
Roquedos sobre Oville
Roquedos sobre Formigoso
Roquedos sobre S.Emiliano – Olleros
Roquedos sobre Pizarras de La Vid
Roquedos sobre cuaternario mixto
GRUPO D
Roquedos sobre Barrios
Roquedos sobre Furada-S.Pedro
Roquedos sobre cuaternario sobre cuarcitas

Tabla 15. Clasificación hidrológica de las zonas con roquedos.

La información descrita en las Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15 se combina para obtener la capa de grupos hidrológicos ABCD que se utilizará en el modelo hidrológico y que se muestra en la Figura 51.

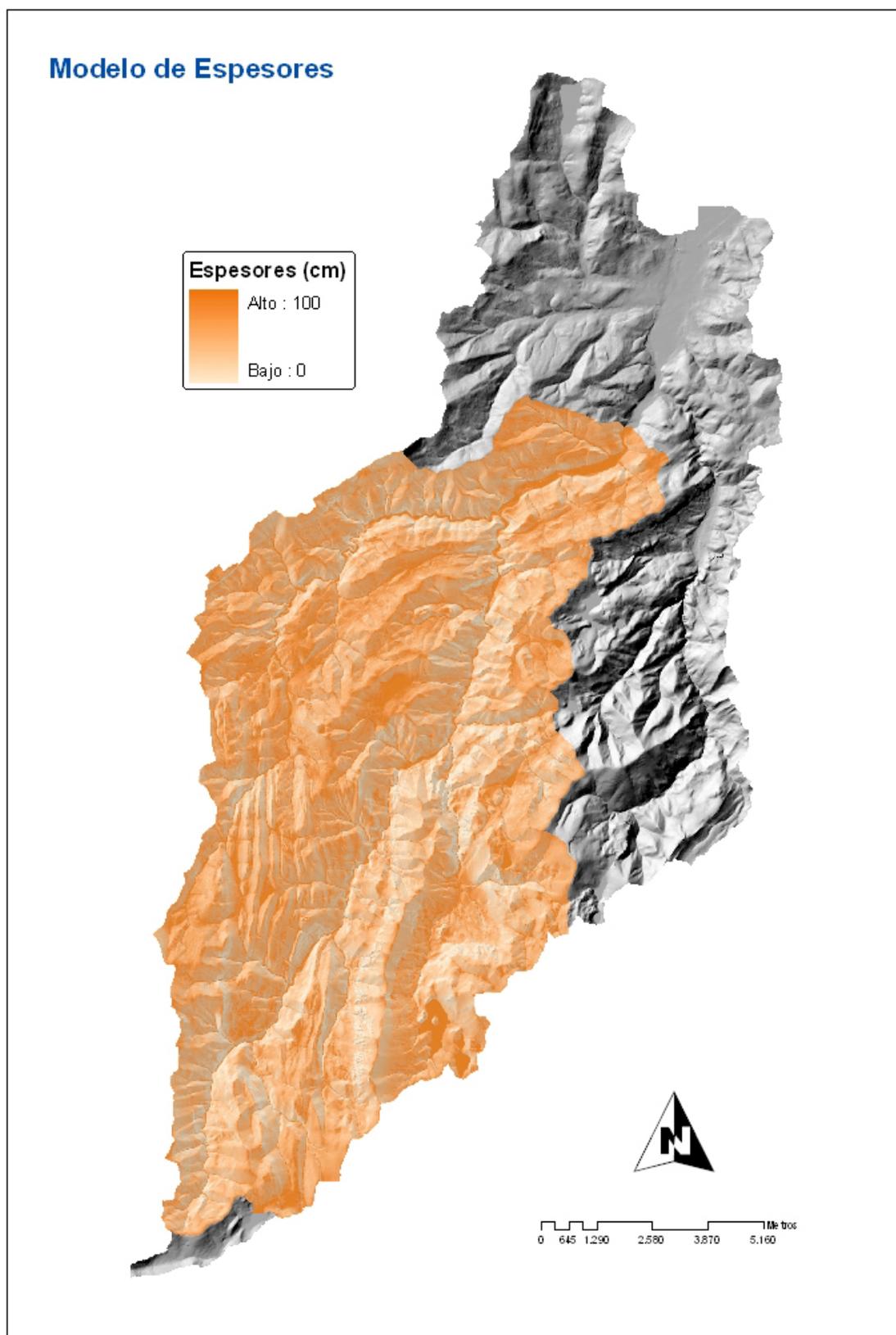


Figura 50. Grupos hidrológicos clasificados en los grupos ABCD establecidos por el SCS.

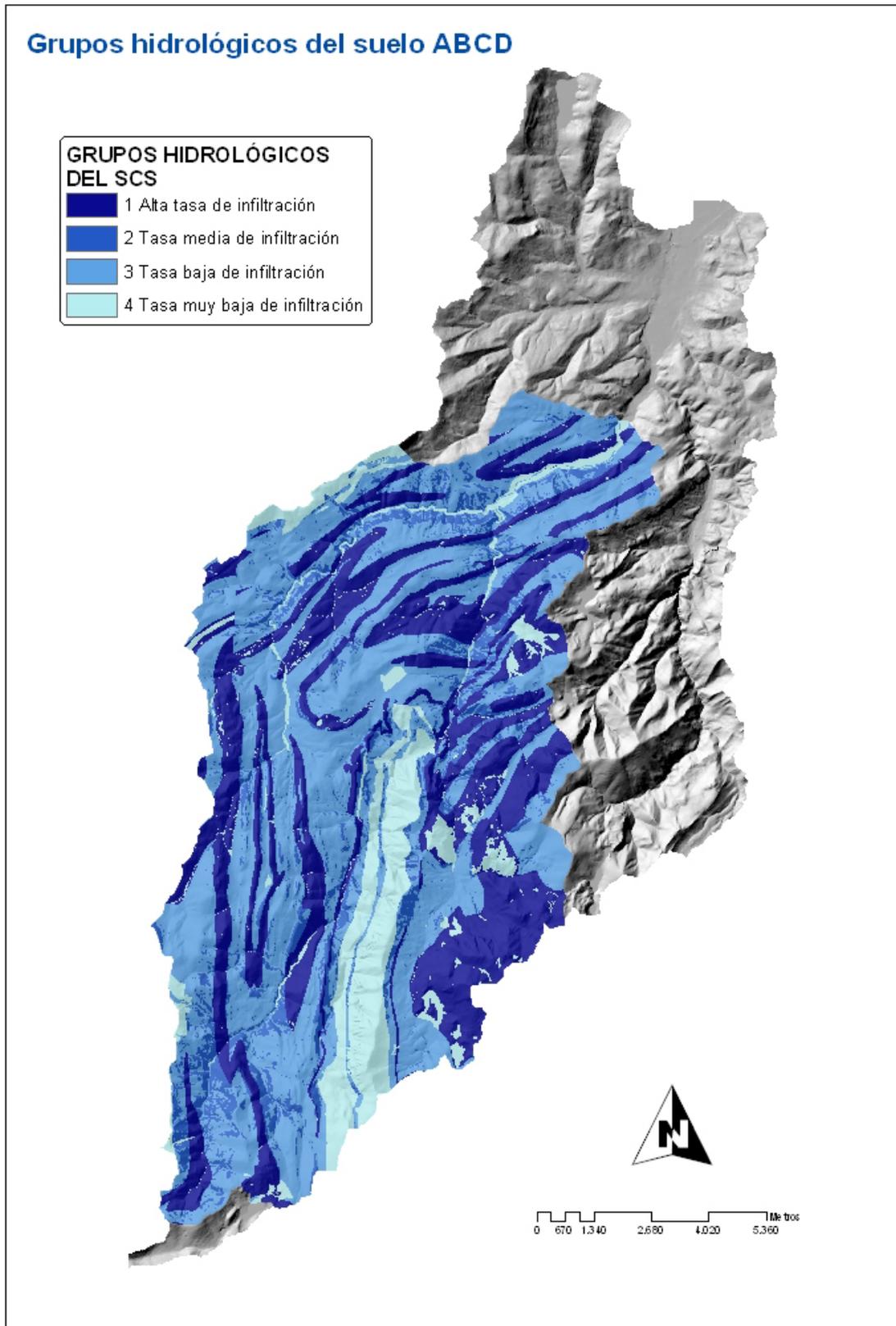


Figura 51. Grupos hidrológicos clasificados en los grupos ABCD establecidos por el SCS.

3.2.2. USOS DEL SUELO

Los grupos de usos del suelo establecidos por el SCS para la estimación del número de curva han sido desarrollados para ser utilizados en Estados Unidos (SCS, 1986). En España es necesario realizar un proceso de conversión entre la cartografía que se vaya a utilizar y estos grupos (Témez 1987; Ferrer et al. 1995, CEDEX 1997).

En este estudio se ha utilizado la información de usos del suelo del proyecto CORINE Land-Cover (Joint Research Centre, European Commission) por varias razones: 1) es habitualmente utilizado en España para hacer esta clasificación, 2) es homogéneo para todo el territorio regional y 3) la versión del proyecto utilizada es la del año 2000, siendo por tanto una fuente de datos muy actual.

La leyenda del mapa de usos del suelo del CORINE Land-Cover del año 2000 (última versión disponible actualmente) en Asturias incluye 116 clases divididas en 5 niveles. Se ha utilizado la tabla de equivalencias entre los usos del suelo de este proyecto y los definidos por el SCS descrita por Ferrer (2003) y se ha actualizado a la última versión dado que contiene numerosas clases nuevas. Al igual que Ferrer, no se han considerado las variaciones temporales y se ha considerado que todos los usos tienen el máximo de cobertura vegetal posible. En la Tabla 16 se presentan las equivalencias utilizadas para los usos de la cuenca de Villanueva.

CODIGO CORINE	USO DEL SUELO CORINE	USO DEL SUELO SCS
23100	Prados y praderas	Pradera buena
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados y praderas en secano	Cereales de invierno R
24330	Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural	Plantaciones regulares de aprovechamiento foresta
31110	Perennifolias	Masa forestal espesa
31120	Caducifolias y marcescentes	Masa forestal espesa
31140	Mezcla de frondosas	Masa forestal muy espesa
32121	Otros pastizales templado-oceánicos	Pradera pobre
32210	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila	Masa forestal media
32410	Matorral boscoso de frondosas	Masa forestal media
33300	Espacios con vegetación escasa	Pradera pobre

Tabla 16. Equivalencias entre los usos del suelo del proyecto CORINE Land Cover y del SCS.

En la Figura 52 se muestra la distribución de usos del suelo clasificada según el SCS en la zona de estudio.

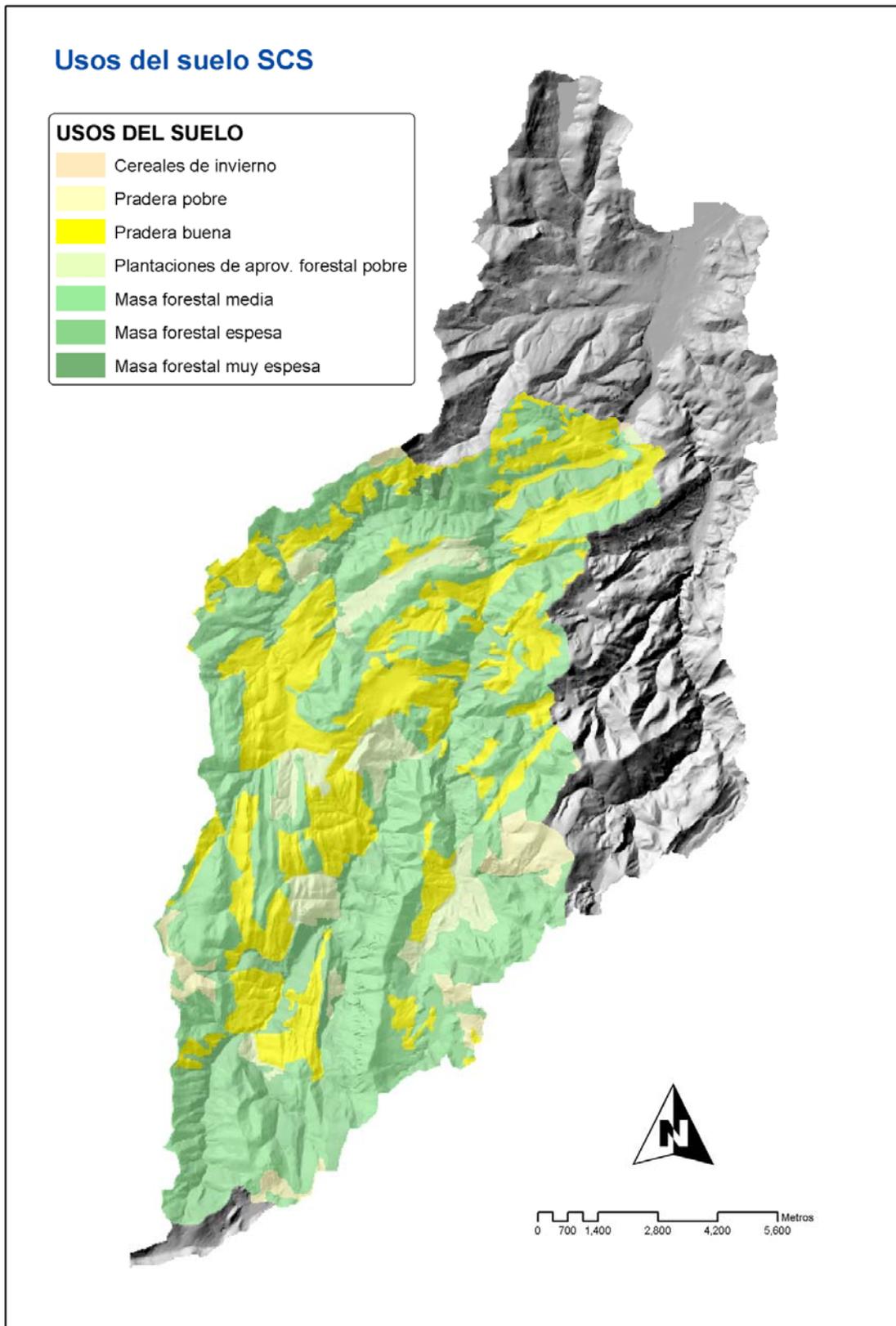


Figura 52. Usos del suelo clasificados según los criterios establecidos por el SCS.

3.2.3. LA PENDIENTE

La pendiente se define como el ángulo que forma la superficie del terreno con la horizontal y es el tercer factor utilizado para la creación del modelo número de curva. Para cuantificar su valor se ha generado un modelo digital de pendientes mediante la función slope() del módulo grid de ArcInfo 8.3. Esta función (Burrough P. A. 1986) utiliza el MDE para identificar el gradiente máximo de variación en el valor z para cada celda mediante la siguiente expresión:

$$\text{Pendiente en porcentaje: } tg\alpha = \left(\frac{a}{b}\right) \times 100 \quad (11)$$

Donde, si consideramos el triángulo formado por la diferencia de altura entre dos celdas contiguas, 'a' es el cateto opuesto, 'b' el cateto contiguo y 'α' es el ángulo entre el cateto contiguo y la hipotenusa.

El modelo digital de pendientes en porcentaje obtenido se presenta en la Figura 53. Los valores de pendiente varían entre 0 y 620 %. Este modelo se ha reclasificado para dividir el territorio en pendientes de más del 3% y de menos, siguiendo las directrices del SCS. El modelo digital de pendientes reclasificado de esta forma se presenta en la Figura 54.

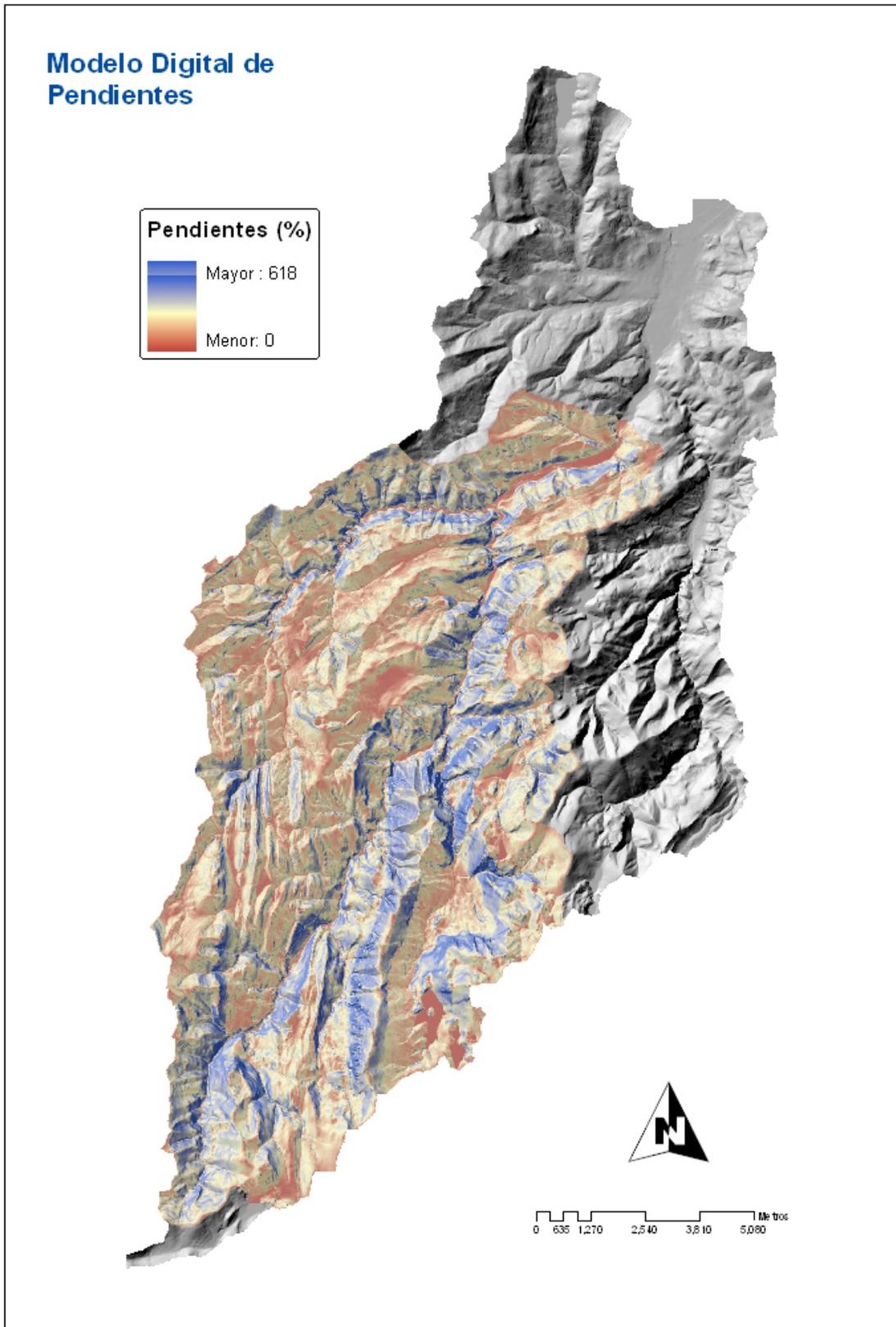


Figura 53. Modelo digital de pendientes en porcentaje para la zona de estudio.

Modelo Digital de Pendientes según SCS

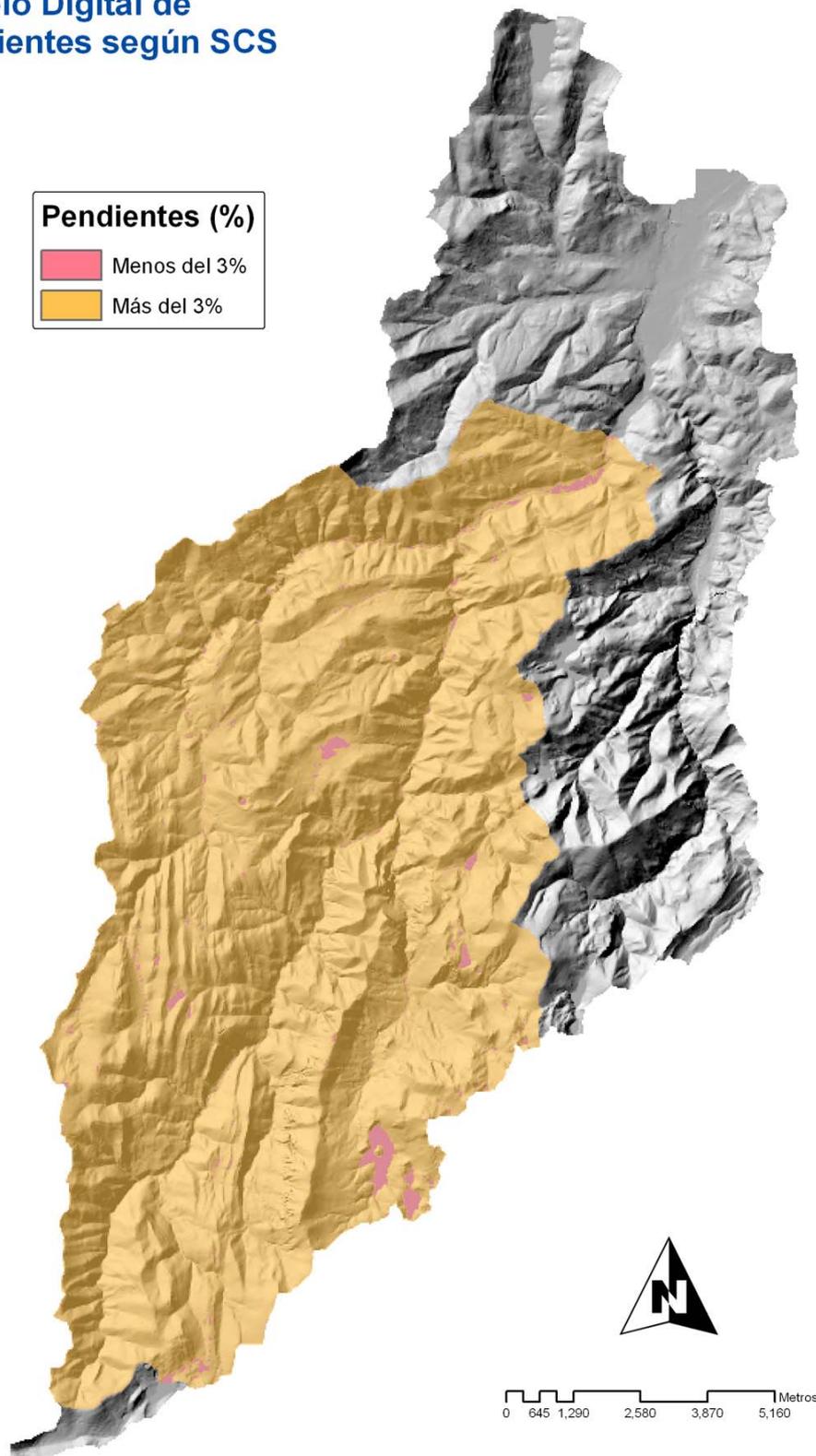


Figura 54. Modelo digital de pendientes en porcentaje para la zona de estudio reclasificado según SCS

3.2.4. EL NÚMERO DE CURVA

Una vez obtenidas las variables grupos hidrológicos, usos del suelo y pendiente, se combinan entre sí en el SIG para obtener el modelo del número de curva. Para facilitar el cálculo se ha seguido el método propuesto por Francés (1994) y Ferrer et al. (1995) por el cual se asigna un número primo (Tabla 17) a cada tipo de pendiente, grupo hidrológico o tipo de suelo, de tal forma que al multiplicar los mapas de las tres variables tengamos siempre una combinación distinta que, mediante una tabla de reclasificación (Tabla 18), permita obtener el número de curva correspondiente.

CARACTERÍSTICA	NÚMERO PRIMO
Pendiente < 3%	1
Pendiente > 3%	2
Grupo hidrológico A	3
Grupo hidrológico B	5
Grupo hidrológico C	7
Grupo hidrológico D	11
Barbecho R	13
Cultivos en hilera R	17
Cereales de invierno R	19
Rotación de cultivos pobres R	23
Rotación de cultivos densos R	29
Pradera pobre	31
Pradera media	37
Pradera buena	41
Pradera muy buena	43
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	47
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal medio	53
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal bueno	59
Masa forestal muy clara	61
Masa forestal clara	67
Masa forestal media	71
Masa forestal espesa	73
Masa forestal muy espesa	79
Rocas permeables	83
Áreas impermeables	89

Tabla 17. Asignación de números primos a cada una de las clases de las tres variables que intervienen en la estimación del parámetro número de curva.

En la Figura 55 se presenta el modelo digital del número de curva para la cuenca de Villanueva. Este parámetro ha sido promediado para cada subcuenca dado que el estudio va a ser realizado de forma agregada en cada una de ellas (Figura 56).

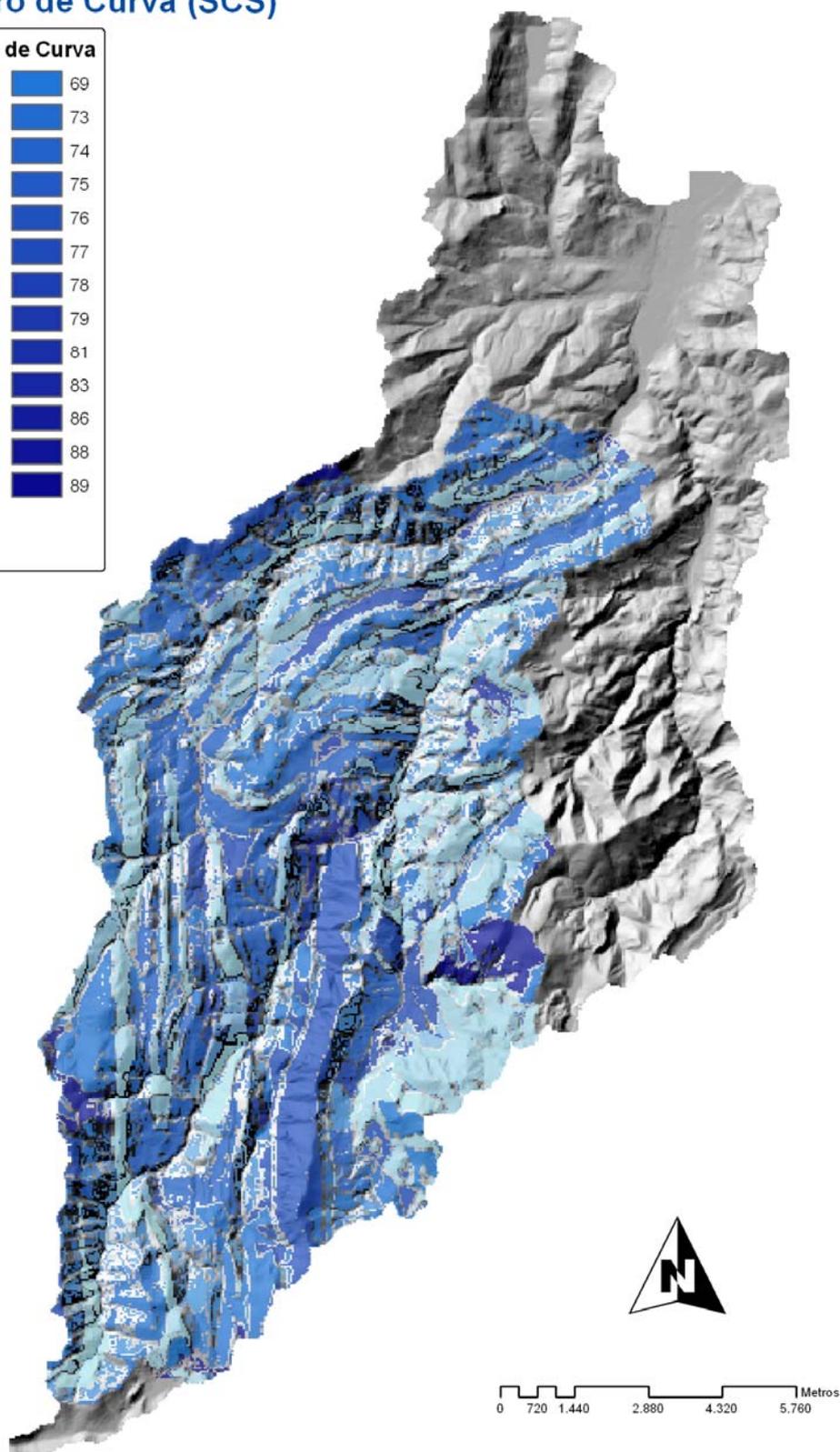
PRODUCTO	NC	PRODUCTO	NC	PRODUCTO	NC
39	71	290	71	730	52
51	64	295	50	737	83
57	59	301	67	742	73
65	68	305	75	781	76
69	63	310	78	790	44
78	77	318	63	803	69
85	73	319	79	814	85
87	52	322	85	826	69
91	82	329	73	830	94
93	46	335	68	854	86
95	70	341	88	869	60
102	69	354	33	890	96
111	39	355	60	902	79
114	63	365	52	913	91
115	73	366	56	938	78
119	78	370	69	946	77
123	29	371	69	979	93
129	17	374	89	994	69
130	86	395	44	1022	62
133	78	402	46	1034	83
138	66	406	81	1106	54
141	40	407	83	1162	94
143	86	410	60	1166	78
145	67	413	77	1246	96
155	67	415	91	1298	77
159	35	418	86	1342	91
161	79	426	40	1474	83
170	79	427	86	1562	76
174	58	430	55	1606	69
177	25	434	86	1738	60
182	89	438	36	1826	94
183	56	445	93	1958	96
185	59	451	78	790	44
186	68	469	78	803	69
187	82	470	66	814	85
190	75	473	76	826	69
201	46	474	29	830	94
203	76	497	69	854	86
205	48	498	94	869	60
209	81	506	89	890	96
213	40	511	62	902	79
215	33	517	78	913	91
217	81	518	78	938	78
219	36	530	60	946	77
222	49	534	96	979	93
230	77	553	54	994	69
235	60	574	74	1022	62
237	29	581	91	1034	83

PRODUCTO	NC	PRODUCTO	NC	PRODUCTO	NC
238	86	583	77	1106	54
246	42	590	54	1162	94
249	91	602	69	1166	78
253	83	610	75	1246	96
258	39	623	93	1298	77
259	75	638	85	1342	91
265	54	649	76	1474	83
266	83	658	77	1562	76
267	93	670	68	1606	69
282	45	671	91	1738	60
286	93	682	89	1826	94
287	69	710	60	1958	96

Tabla 18. Equivalencias entre el producto de los números primos (PRODUCTO) y el parámetro número de curva (NC).

Número de Curva (SCS)

Número de Curva	
29	69
36	73
40	74
42	75
44	76
45	77
46	78
48	79
52	81
54	83
60	86
62	88
66	89
67	
68	



01

Figura 55. Modelo digital del número de curva para la zona de estudio

Número de curva promediado para cada subcuenca

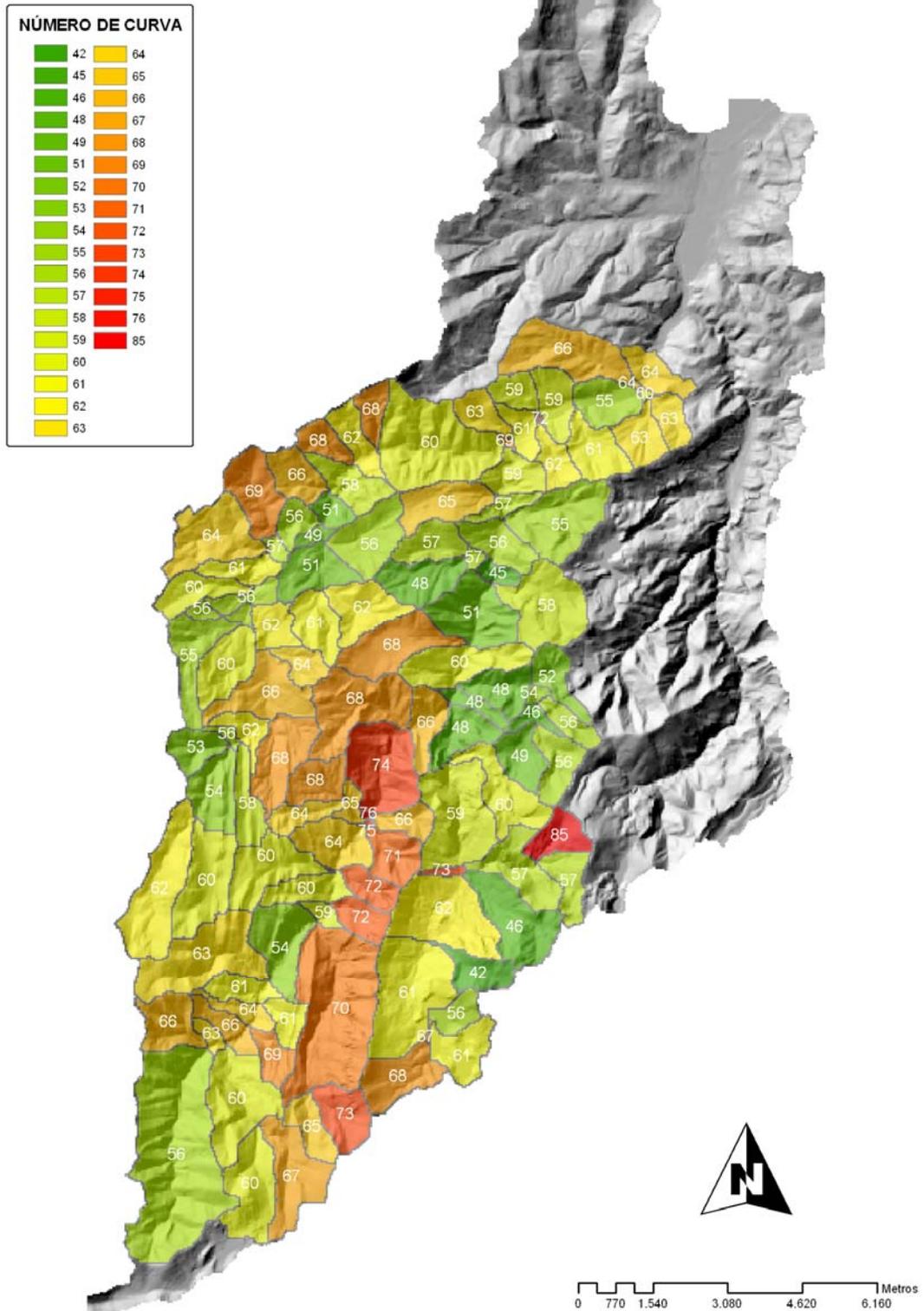


Figura 56. Modelo digital del número de curva promediado para cada subcuenca.

3.2.5. PARÁMETROS DE ENTRADA EN HEC-HMS

El número de curva que se ha calculado para cada subcuenca es el que se ha utilizado como método de pérdidas. De esta forma, el HEC-HMS determina que parte de la precipitación se mueve como escorrentía superficial y qué parte se pierde por infiltración, evaporación, intercepción o cualquier otra causa.

Este método está definido por tres parámetros: el *número de curva* que hemos calculado para cada subcuenca y que es adimensional, la *abstracción inicial* expresada en milímetros y el porcentaje de *área impermeable* de cada subcuenca. Dado que el número de curva ya lo tenemos calculado y que el área impermeable ha sido ya considerada en el cálculo del número de curva, solo queda por determinar la abstracción inicial.

La *abstracción inicial* es una fracción del déficit de almacenamiento de humedad en el suelo existente cuando se produce la escorrentía. Su valor depende del parámetro número de curva y se determina mediante la siguiente expresión:

$$InitialAbstraction = 0.2 \times S \quad (12)$$

donde

$$S = \frac{(25400 - 254 \times NC)}{NC} \quad (13)$$

siendo NC el número de curva.

En la Tabla 19 se presentan los valores del número de curva y de la abstracción inicial calculados para cada subcuenca.

Cuenca	NC	Ai	Cuenca	NC	Ai	Cuenca	NC	Ai	Cuenca	NC	Ai
R430W430	64	28,6	R780W780	56	39,9	R1150W1150	66	26,2	R1490W1490	73	18,8
R440W420	66	26,2	R790W790	57	38,3	R1160W1160	48	55,0	R1510W1500	71	20,7
R450W450	63	29,8	R800W800	64	28,6	R1170W1170	68	23,9	R1520W1520	61	32,5
R460W460	55	41,6	R810W810	51	48,8	R1190W1180	52	46,9	R1530W1530	46	59,6
R490W490	59	35,3	R840W840	57	38,3	R1200W1200	62	31,1	R1540W1540	62	31,1
R500W500	61	32,5	R850W850	61	32,5	R1210W1210	68	23,9	R1550W1550	59	35,3
R520W520	59	35,3	R870W870	48	55,0	R1220W1220	52	46,9	R1560W1560	72	19,8
R550W550	61	32,5	R880W880	57	38,3	R1240W1240	74	17,8	R1570W1570	54	43,3
R560W560	62	31,1	R900W900	45	62,1	R1250W1250	56	39,9	R1580W1580	70	21,8
R570W570	64	28,6	R910W910	51	48,8	R1260W1260	58	36,8	R1590W1590	42	70,2
R590W590	59	35,3	R920W920	58	36,8	R1270W1270	53	45,0	R1600W1600	61	32,5
R600W600	68	23,9	R930W930	60	33,9	R1280W1280	54	43,3	R1610W1610	62	31,1
R610W610	60	33,9	R940W940	56	39,9	R1290W1290	60	33,9	R1630W1630	64	28,6
R620W620	62	31,1	R950W950	61	32,5	R1300W1300	59	35,3	R1640W1640	61	32,5
R630W630	68	23,9	R980W980	56	39,9	R1350W1350	68	23,9	R1650W1650	65	27,4
R640W640	58	36,8	R990W990	62	31,1	R1360W1360	64	28,6	R1660W1660	56	39,9
R650W650	69	22,8	R1000W1000	62	31,1	R1380W1370	67	25,0	R1690W1690	69	22,8
R660W660	66	26,2	R1010W1010	58	36,8	R1390W1390	62	31,1	R1700W1700	66	26,2
R690W690	51	48,8	R1030W1030	68	23,9	R1400W1400	60	33,9	R1710W1710	58	36,8
R700W700	57	38,3	R1040W1040	60	33,9	R1410W1410	65	27,4	R1720W1720	63	29,8
R710W710	65	27,4	R1050W1050	64	28,6	R1430W1430	64	28,6	R1730W1730	60	33,9
R740W740	55	41,6	R1060W1060	66	26,2	R1440W1440	71	20,7	R1760W1750	69	22,8
R750W750	56	39,9	R1090W1090	52	46,9	R1450W1450	71	20,7	R1780W1770	63	29,8
R760W760	56	39,9	R1100W1100	48	55,0	R1460W1460	57	38,3			
R770W770	49	52,9	R1120W1120	48	55,0	R1480W1480	60	33,9			

Tabla 19. Valor promediado para cada subcuenca del número de curva (NC) que es adimensional y de la abstracción inicial (Ai) expresada en mm.

3.3. TRANSFORMACIÓN LLUVIA- ESCORRENTÍA

La lluvia que no se infiltra generalmente se desplaza pendiente abajo como escorrentía superficial. La modelización de este proceso se puede hacer en el HEC-HMS mediante diversos métodos, habiendo utilizado en el presente estudio el hidrograma unitario del Soil Conservation Service (SCS-UH) por su sencillez y por su coherencia con el resto de métodos del mismo organismo utilizados en el estudio.

Este es un método empírico desarrollado en Estados Unidos pero que se ha utilizado de forma habitual en el resto del mundo, incluido nuestro país. Este método utiliza ecuaciones paramétricas para calcular la magnitud y tiempo del pico del hidrograma a partir del retardo (lag). Por tanto, solo será necesario calcular un valor de entrada, el retardo (SCS Lag) en minutos. Los valores calculados de este parámetro se presentan en la Tabla 20.

Cuenca	Lag	Cuenca	Lag	Cuenca	Lag	Cuenca	Lag
R430W430	0,389	R780W780	0,557	R1150W1150	0,288	R1490W1490	0,182
R440W420	0,651	R790W790	0,206	R1160W1160	0,362	R1510W1500	0,209
R450W450	0,377	R800W800	0,545	R1170W1170	0,457	R1520W1520	0,397
R460W460	0,458	R810W810	0,6	R1190W1180	0,401	R1530W1530	0,775
R490W490	0,335	R840W840	0,407	R1200W1200	0,315	R1540W1540	0,435
R500W500	0,423	R850W850	0,384	R1210W1210	0,382	R1550W1550	0,226
R520W520	0,333	R870W870	0,646	R1220W1220	0,47	R1560W1560	0,204
R550W550	0,272	R880W880	0,199	R1240W1240	0,288	R1570W1570	0,523
R560W560	0,382	R900W900	0,26	R1250W1250	0,244	R1580W1580	0,518
R570W570	0,294	R910W910	0,473	R1260W1260	0,479	R1590W1590	0,707
R590W590	0,374	R920W920	0,622	R1270W1270	0,339	R1600W1600	0,611
R600W600	0,264	R930W930	0,51	R1280W1280	0,561	R1610W1610	0,598
R610W610	0,711	R940W940	0,434	R1290W1290	0,603	R1630W1630	0,297
R620W620	0,326	R950W950	0,383	R1300W1300	0,507	R1640W1640	0,324
R630W630	0,239	R980W980	0,471	R1350W1350	0,27	R1650W1650	0,524
R640W640	0,366	R990W990	0,42	R1360W1360	0,398	R1660W1660	0,302
R650W650	0,322	R1000W1000	0,466	R1380W1370	0,244	R1690W1690	0,284
R660W660	0,308	R1010W1010	0,708	R1390W1390	0,7	R1700W1700	0,341
R690W690	0,286	R1030W1030	0,613	R1400W1400	0,608	R1710W1710	0,832
R700W700	0,319	R1040W1040	0,402	R1410W1410	0,219	R1720W1720	0,209
R710W710	0,489	R1050W1050	0,293	R1430W1430	0,358	R1730W1730	0,513
R740W740	0,567	R1060W1060	0,476	R1440W1440	0,219	R1760W1750	0,287

Cuenca	Lag	Cuenca	Lag	Cuenca	Lag	Cuenca	Lag
R750W750	0,382	R1090W1090	0,451	R1450W1450	0,3	R1780W1770	0,61
R760W760	0,322	R1100W1100	0,457	R1460W1460	0,504		
R770W770	0,294	R1120W1120	0,378	R1480W1480	0,585		

Tabla 20. Valor promediado para cada subcuena del parámetro retardo (Lag) utilizado para determinar la transformación lluvia-escorrentía mediante el método del SCS-UH.

3.4. TRÁNSITO DE CAUDALES

El programa HEC-HMS incluye varios métodos que permiten modelizar el tránsito de caudales o de hidrogramas por el cauce (Lag, Muskingum, Modified Puls, Kinematic-wave, Muskingun-Cunge). Estos métodos determinan el hidrograma aguas abajo a partir del hidrograma aguas arriba, resolviendo las ecuaciones de St. Venant (ecuación de momentos y ecuación de continuidad) mediante diversas simplificaciones. De este modo se puede determinar como el pico del hidrograma (caudal máximo) evoluciona a medida que nos movemos aguas abajo.

Como la pendiente de los canales de estudio es significativamente mayor de 0.002 m/m (Tabla 10), cualquiera de estos métodos podría funcionar bien en el área de estudio. En el presente estudio se ha utilizado el método de Muskingum por ser uno de los utilizados habitualmente, cuyos parámetros son más sencillos de determinar.

El método de Muskingum es una aproximación de la ecuación de continuidad (Chow 1959). Los parámetros de entrada necesarios para su cálculo son tres: K, X y el número de subtramos.

El parámetro K se define como:

$$K = \frac{\Delta x}{c_k} \quad (14)$$

siendo Δx la longitud del canal principal en el tramo y c_k la celeridad, considerando que tanto K como Δx son constantes.

Se acostumbra a calcular considerando válida la aproximación de la onda cinemática y la ecuación de resistencia de Manning, por la cual la celeridad sería igual a:

$$c_k = \frac{5}{3} v \quad (15)$$

siendo v la velocidad de la onda de avenida, que a su vez puede ser calculada como:

$$v = \frac{\Delta x}{T_c} \quad (16)$$

donde T_c es el tiempo de concentración del fluido en el tramo por el canal principal. En España habitualmente se determina el tiempo de concentración mediante la fórmula de Témez (ecuación 6).

De modo que se llega a la siguiente ecuación para el parámetro K :

$$K = 0.6 \times T_c = 0.18 \left(\frac{\Delta x}{S_0^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (17)$$

donde Δx (longitud del tramo) se expresa en km, S_0 (pendiente) en m/m y K en horas.

El parámetro X se define como:

$$X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{B c_k S_0 \Delta x} \right) \quad (18)$$

donde Q es el caudal, c_k es la celeridad de la onda de avenida para dicho caudal y el ancho de la superficie de agua, B es el ancho de la superficie de agua, y S_0 es la pendiente media del tramo.

Su valor varía entre 0 y 0.5 en función de las características físicas del cauce y del tipo de caudal, de modo que cauces con poca pendiente y mucho caudal tendrán valores de X próximos a 0 y cauces con mucha pendiente y poco caudal tendrán valores próximos a 0.5

Las corrientes naturales suelen variar entre 0.2 y 0.3 y cuando se trata de ríos de montaña, con poca llanura aluvial, el valor de X suele subir a 0.4. Para canales urbanos los valores se sitúan en 0.45-0.5 (Gray y Wigham, 1979; Viessman et al., 1977). Dugger (1997) presentan en un estudio el efecto de la variación de este parámetro en el modelo mediante la técnica de “ensayo y error” y determinan que una ligera oscilación en su valor no influye significativamente en el mismo. En este trabajo hemos utilizado un valor medio de X de 0.3.

El número de subtramos se calcula en función del tiempo de paso elegido para el modelo hidrológico (capítulo 3.6.1), debido a que dicho tiempo debe estar entre $K/3$ y K para que el modelo sea estable. Por tanto, para que esto sea así, dividimos el tramo en el número necesario de subtramos.

La utilización de este método implica que se asuman algunas limitaciones, la principal es que solamente se puede introducir un valor de K y X para cada subtramo, es decir, se asume que ambos valores son constantes en todo el tramo, cuando en la realidad estos valores pueden variar sensiblemente en función de la

velocidad y de la profundidad. Además, no permite considerar condiciones de remanso en el flujo de la corriente, como ocurre en confluencias de ríos o aguas abajo de un embalse controlado.

Los valores de estos parámetros utilizados en este proyecto se presentan en la Tabla 21.

TRAMO	K	N3	TRAMO	K	N3
R420	0,519	10	R1220	0,183	4
R430	0,391	8	R1230	0,22	4
R440	0,151	3	R1240	0,682	14
R450	0,14	3	R1250	0,085	2
R460	0,661	13	R1260	0,287	6
R470	0,089	2	R1270	0,17	3
R480	0,096	2	R1280	0,451	9
R490	0,313	6	R1290	0,37	7
R500	0,236	5	R1300	0,601	12
R520	0,074	1	R1350	0,073	1
R540	0,089	2	R1360	0,096	2
R550	0,347	7	R1370	0,078	2
R560	0,169	3	R1380	0,044	1
R570	0,149	3	R1390	0,595	12
R580	0,151	3	R1400	0,531	11
R590	0,482	10	R1410	0,22	4
R600	0,073	1	R1420	0,104	2
R610	0,929	19	R1430	0,455	9
R620	0,292	6	R1440	0,166	3
R630	0,094	2	R1450	0,144	3
R640	0,462	9	R1460	0,417	8
R650	0,322	6	R1470	0,094	2
R660	0,119	2	R1480	0,392	8
R690	0,294	6	R1490	0,101	2
R700	0,308	6	R1500	0,072	1
R710	0,302	6	R1510	0,089	2
R740	0,364	7	R1520	0,257	5
R750	0,476	10	R1530	0,415	8
R760	0,428	9	R1540	0,557	11
R770	0,162	3	R1550	0,216	4
R780	0,336	7	R1560	0,098	2
R790	0,182	4	R1570	0,598	12
R800	0,45	9	R1580	0,814	16
R810	0,347	7	R1590	0,21	4
R840	0,176	4	R1600	0,437	9
R850	0,403	8	R1610	0,547	11
R870	0,325	7	R1620	0,231	5
R880	0,173	3	R1630	0,217	4
R900	0,248	5	R1640	0,037	1
R910	0,565	11	R1650	0,206	4
R920	0,349	7	R1660	0,089	2
R930	0,311	6	R1670	0,448	9

TRAMO	K	N3	TRAMO	K	N3
R940	0,187	4	R1680	0,298	6
R950	0,11	2	R1690	0,108	2
R980	0,198	4	R1700	0,244	5
R990	0,391	8	R1710	0,182	4
R1000	0,295	6	R1720	0,169	3
R1010	0,347	7	R1730	0,446	9
R1020	0,304	6	R1740	0,905	18
R1030	0,432	9	R1750	0,211	4
R1040	0,407	8	R1760	0,139	3
R1050	0,109	2	R1770	0,435	9
R1060	0,535	11	R1780	0,374	7
R1090	0,151	3			
R1100	0,416	8			
R1110	0,157	3			
R1120	0,177	4			
R1150	0,425	9			
R1160	0,415	8			
R1170	0,383	8			
R1180	0,15	3			
R1190	0,041	1			
R1200	0,271	5			
R1210	0,273	5			

Tabla 21. Valores de K y número de subtramos (Ns) para $X = 0.3$ y un tiempo de paso de 3 minutos.

3.5. MODELO METEOROLÓGICO

El estudio meteorológico comienza por el análisis de la calidad de los datos brutos proporcionados por las tres estaciones del Instituto Nacional de Meteorología (INM) en la cuenca del Cubia (Tabla 22, Figura 57).

ESTACIÓN	COORDENADAS UTM HUSO 30	CÓDIGO	PRECIPITACIÓN
Grado "Nestlé"	251108, 4805586	1250i	1971-1993
Los llanos de Cabruñana	248141, 4810640	1250o	1968-2004
Grado	251863, 4807720	1251	1941-2004

Tabla 22. Resumen de las estaciones meteorológicas del INM en el área de estudio.

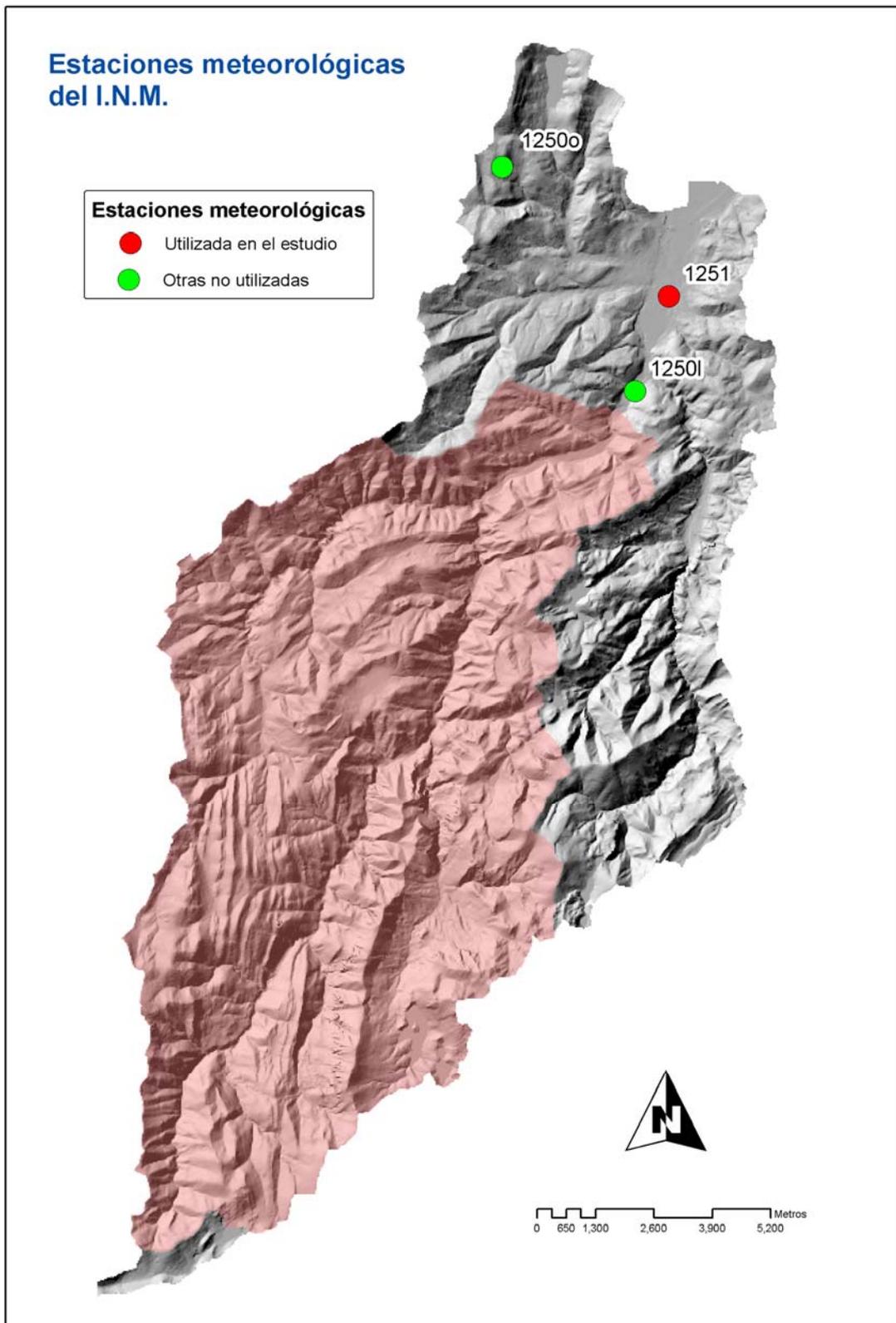


Figura 57. Ubicación de las estaciones meteorológicas del INM en la cuenca del Cubia. La zona seleccionada para el estudio hidrológico está coloreada.

De las estaciones meteorológicas citadas, hay un grado de incertidumbre en lo que se refiere a la calidad de los datos bastante elevado según datos del propio INM en un informe interno. Debido a ello solamente se ha utilizado la que ofrece más seguridad e información que es la estación de Grado.

La variable a estudiar es la precipitación máxima en 24 horas y su distribución en máximos mensuales se muestra en la Figura 58.

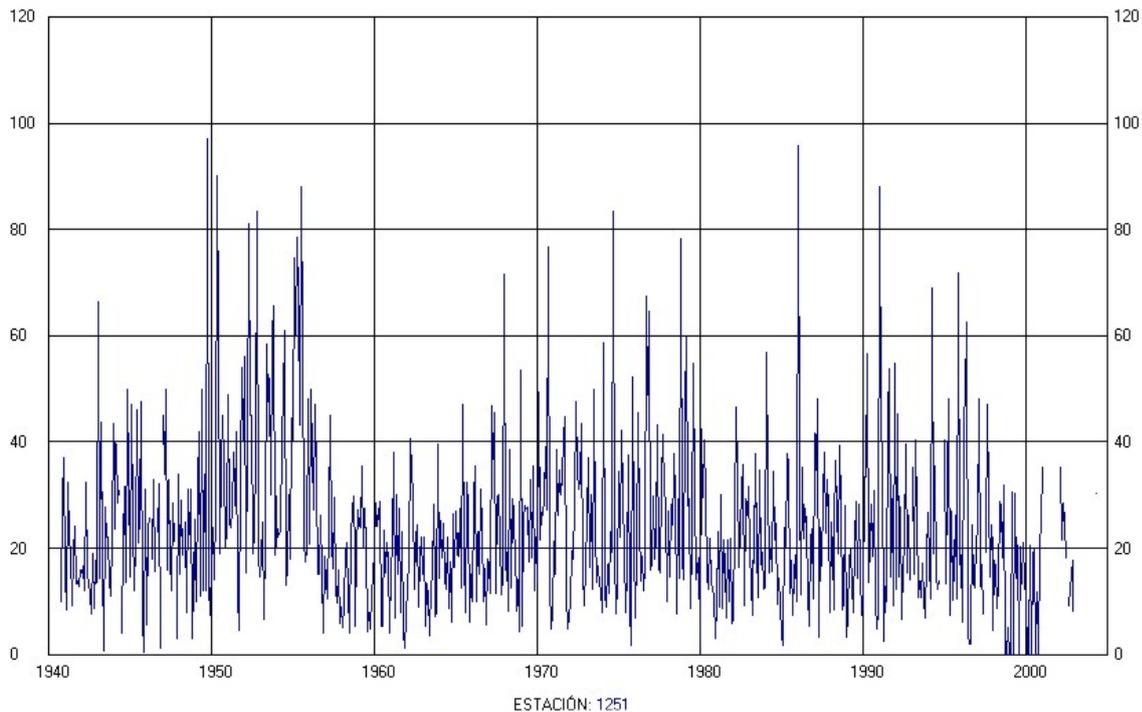


Figura 58. Distribución de la precipitación máxima en 24 horas mensual para la estación de Grado

Los estadísticos principales se presentan en la tabla 3.16. y son el valor medio, máximo y los coeficientes de variación y de sesgo, siendo estos últimos calculados según las siguientes expresiones:

$$CV = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (19)$$

$$CS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - m_x)^3}{\sigma^3} \quad (20)$$

donde x_i es cada valor de precipitación, m_x es la media y σ_x es la desviación típica.

AÑOS		MEDIA	MÁXIMO	CV	CS
TOTALES	COMPLETOS				
65	53	52.7	97.0	0.367	0.771

Tabla 23. Estadísticos de la estación meteorológica de Grado. Se indican: los años totales de registro y cuántos de ellos están completos; la media y el máximo de precipitación máxima en 24 horas, su coeficiente de variación y su coeficiente de sesgo.

3.5.1. AJUSTE DE LA LLUVIA A PERIODOS DE RETORNO

Una vez realizado el análisis de la calidad de la información se procedió al cálculo de los periodos de la lluvia esperada para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años.

Para ello se ha de realizar un estudio de frecuencias que permita ajustar los datos a una ley de distribución de extremos. En este proyecto se han ajustado los datos a las funciones de distribución de Gumbel, LogPEARSON III y SQRT.

La *distribución de Gumbel* es una de las funciones de distribución más empleadas para el estudio de las precipitaciones máximas en 24 horas y se determina mediante la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right] \quad (21)$$

siendo μ el parámetro de localización y α el parámetro de escala. Se ha ajustado por momentos, por máxima verosimilitud y por momentos ponderados probabilísticamente (CEDEX, 2004).

Esta distribución asume un valor constante del coeficiente de sesgo igual a 1.14, lo que contradice frecuentemente los valores maestres observados y conduce en estos casos a resultados del lado de la inseguridad (Ferrer 2000).

La *distribución LogPearson III* es también de uso frecuente para el análisis de precipitaciones máximas en 24 horas y se determina según:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha^r \Gamma(r)} (x-\mu)^{r-1} e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}} \quad (22)$$

siendo μ el parámetro de localización, r el parámetro de forma y α el parámetro de escala. El ajuste se ha realizado de forma individual con sesgo muestral (CEDEX, 2004).

Esta función de distribución requiere del uso de información regional para la mejor estimación de los parámetros relacionados con el sesgo de la población. Su aplicación el series de lluvias de la cuenca del río Gualahorce (Ferrer 1991) ha mostrado una gran varianza en los cuantiles estimados.

La *distribución SQRT* (Etoh 1986) es la indicada por el CEDEX como la más recomendada para el estudio de precipitaciones máximas en 24 horas (Ferrer 2000). Se define como:

$$F(x) = \exp\left[-\kappa(1 + \sqrt{\alpha x})\exp(-\sqrt{\alpha x})\right] \quad (23)$$

donde α es el parámetro de escala y κ es el parámetro de forma. El ajuste se ha realizado por máxima verosimilitud (CEDEX, 2004).

Esta función asume un valor del coeficiente del sesgo superior a Gumbel de modo que los cuantiles estimados son similares a los obtenidos por este para períodos de retorno bajos y medios pero alcanza valores superiores para períodos de retorno más altos, lo que conduce en general a resultados más realistas y más conservadores que los obtenidos por Gumbel (Ferrer 2000).

A la vista de lo aquí comentado y de los resultados obtenidos para cada función de distribución (Tabla 24), se han utilizado los valores correspondientes al ajuste a la función de distribución SQRT. En la Figura 59 se presenta gráficamente el ajuste realizado con la función SQRT.

PERIODOS DE RETORNO	GUMBEL			SQRT	LP3
	MOM	ML	PWM	ML	
2	50	49	49	48	49
5	67	66	67	66	67
10	78	76	79	78	79
25	92	90	94	96	95
50	103	100	105	111	108
100	113	110	116	125	121
500	137	134	142	164	152

Tabla 24. Precipitaciones estimadas para diferentes periodos de retorno obtenidas por ajuste a las funciones de distribución de Gumbel, SQRT y LogPearsonIII. MOM = Momentos, ML = Máxima verosimilitud, PWM = Momentos ponderados.

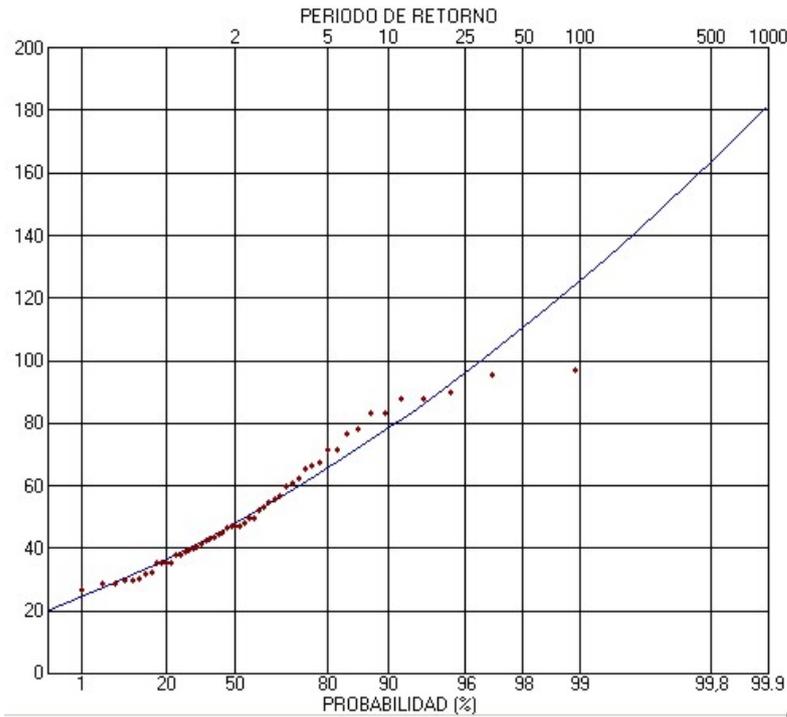


Figura 59. Ajuste de los datos de precipitación a la función de distribución SQRT.

3.5.2. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

Además de los datos de precipitación máxima en 24 horas estimados para diferentes periodos de retorno es necesario obtener su valor para duraciones menores de la diaria, para lo cual se construirán las curvas de intensidad-duración-frecuencia según la siguiente expresión:

$$\frac{I_t}{I_d} = \left(\frac{I_1}{I_d} \right)^{\frac{28^{0.1} - t^{0.1}}{28^{0.1} - 1}} \quad (24)$$

siendo: I_t la intensidad media en mm/h correspondiente al intervalo de duración t deseado; I_d la intensidad media diaria en mm/h correspondiente al periodo de retorno considerado; I_1/I_d es el cociente entre la intensidad horaria y la diaria, su valor está tabulado para todo el territorio nacional correspondiente un valor aproximado de 8.5 para Asturias (Ferrer 2000).

En la Tabla 25 se muestran los resultados obtenidos al aplicar esta expresión.

ESTACIÓN 1251 "GRADO"														
Duración (h)	Periodos de retorno													
	Intensidad (mm/h)							Precipitación (mm)						
	2	5	10	25	50	100	500	2	5	10	25	50	100	500
1	17,0	23,4	27,6	34,0	39,3	44,3	58,1	17,0	23,4	27,6	34,0	39,3	44,3	58,1
2	11,5	15,9	18,7	23,1	26,7	30,0	39,4	23,1	31,7	37,5	46,1	53,3	60,0	78,8
3	9,1	12,5	14,7	18,1	21,0	23,6	31,0	27,2	37,4	44,2	54,4	62,9	70,8	92,9

ESTACIÓN 1251 "GRADO"														
Duración (h)	Periodos de retorno													
	Intensidad (mm/h)							Precipitación (mm)						
	2	5	10	25	50	100	500	2	5	10	25	50	100	500
4	7,6	10,5	12,4	15,2	17,6	19,8	26,0	30,4	41,8	49,4	60,8	70,3	79,2	103,9
5	6,6	9,1	10,7	13,2	15,3	17,2	22,6	33,0	45,4	53,7	66,1	76,4	86,0	112,9
6	5,9	8,1	9,6	11,8	13,6	15,3	20,1	35,3	48,5	57,3	70,5	81,6	91,8	120,5
7	5,3	7,3	8,6	10,6	12,3	13,8	18,2	37,2	51,2	60,5	74,4	86,0	96,9	127,1
8	4,9	6,7	7,9	9,7	11,3	12,7	16,6	38,9	53,5	63,3	77,8	90,0	101,4	133,0
9	4,5	6,2	7,3	9,0	10,4	11,7	15,4	40,5	55,6	65,8	80,9	93,6	105,4	138,3
10	4,2	5,8	6,8	8,4	9,7	10,9	14,3	41,9	57,6	68,0	83,7	96,8	109,0	143,0
11	3,9	5,4	6,4	7,8	9,1	10,2	13,4	43,1	59,3	70,1	86,3	99,8	112,3	147,4
12	3,7	5,1	6,0	7,4	8,5	9,6	12,6	44,3	60,9	72,0	88,6	102,5	115,4	151,4
13	3,5	4,8	5,7	7,0	8,1	9,1	11,9	45,4	62,4	73,8	90,8	105,0	118,2	155,1
14	3,3	4,6	5,4	6,6	7,7	8,6	11,3	46,4	63,8	75,4	92,8	107,3	120,9	158,6
15	3,2	4,3	5,1	6,3	7,3	8,2	10,8	47,4	65,1	77,0	94,7	109,5	123,3	161,8
16	3,0	4,1	4,9	6,0	7,0	7,9	10,3	48,3	66,4	78,4	96,5	111,6	125,7	164,9
17	2,9	4,0	4,7	5,8	6,7	7,5	9,9	49,1	67,5	79,8	98,2	113,5	127,8	167,7
18	2,8	3,8	4,5	5,5	6,4	7,2	9,5	49,9	68,6	81,1	99,8	115,4	129,9	170,4
19	2,7	3,7	4,3	5,3	6,2	6,9	9,1	50,6	69,6	82,3	101,3	117,1	131,9	173,0
20	2,6	3,5	4,2	5,1	5,9	6,7	8,8	51,3	70,6	83,4	102,7	118,7	133,7	175,4
21	2,5	3,4	4,0	5,0	5,7	6,5	8,5	52,0	71,5	84,5	104,0	120,3	135,5	177,7
22	2,4	3,3	3,9	4,8	5,5	6,2	8,2	52,7	72,4	85,6	105,3	121,8	137,1	179,9
23	2,3	3,2	3,8	4,6	5,4	6,0	7,9	53,3	73,3	86,6	106,5	123,2	138,7	182,0
24	2,2	3,1	3,6	4,5	5,2	5,8	7,7	53,9	74,1	87,5	107,7	124,6	140,3	184,0

Tabla 25. Valores de intensidad (mm/h) y precipitación (mm) calculados para los intervalos horarios de cada periodo de retorno a partir de curvas IDF.

3.5.3. TORMENTA DE DISEÑO

Una tormenta de diseño es una distribución hipotética de la cantidad de lluvia estimada para un determinado periodo de retorno.

A partir de los valores obtenidos en el apartado anterior se calculan los incrementos de precipitación para cada intervalo. A continuación y mediante el método de bloques alternos se reordenan los valores de tal manera que el máximo ocurra en el primer tercio de la duración total, mientras que el resto de las precipitaciones se ubican alternativamente delante y detrás del intervalo con precipitación máxima.

En la Tabla 26 se presentan los incrementos y los incrementos alternados para la estación de Grado.

ESTACIÓN 1251 "GRADO"														
Duración (h)	Periodos de retorno													
	Incrementos (mm)							Incrementos alternados (mm)						
	2	5	10	25	50	100	500	2	5	10	25	50	100	500
1	17	23,4	27,6	34,0	39,3	44,3	58,1	1,9	2,7	3,2	3,9	4,4	5,1	6,6
2	6,1	8,3	9,9	12,1	14,0	15,7	20,7	2,3	3,1	3,6	4,4	5,2	5,8	7,6
3	4,1	5,7	6,7	8,3	9,6	10,8	14,1	2,6	3,6	4,3	5,3	6,1	6,8	9,0
4	3,2	4,4	5,2	6,4	7,4	8,4	11,0	3,2	4,4	5,2	6,4	7,4	8,4	11,0
5	2,6	3,6	4,3	5,3	6,1	6,8	9,0	4,1	5,7	6,7	8,3	9,6	10,8	14,1
6	2,3	3,1	3,6	4,4	5,2	5,8	7,6	6,1	8,3	9,9	12,1	14,0	15,7	20,7
7	1,9	2,7	3,2	3,9	4,4	5,1	6,6	17,0	23,4	27,6	34,0	39,3	44,3	58,1
8	1,7	2,3	2,8	3,4	4,0	4,5	5,9	1,7	2,3	2,8	3,4	4,0	4,5	5,9

ESTACIÓN 1251 "GRADO"														
Duración (h)	Periodos de retorno													
	Incrementos (mm)							Incrementos alternados (mm)						
	2	5	10	25	50	100	500	2	5	10	25	50	100	500
9	1,6	2,1	2,5	3,1	3,6	4,0	5,3	1,6	2,1	2,5	3,1	3,6	4,0	5,3
10	1,4	2,0	2,2	2,8	3,2	3,6	4,7	1,4	2,0	2,2	2,8	3,2	3,6	4,7
11	1,2	1,7	2,1	2,6	3,0	3,3	4,4	1,2	1,7	2,1	2,6	3,0	3,3	4,4
12	1,2	1,6	1,9	2,3	2,7	3,1	4,0	1,2	1,6	1,9	2,3	2,7	3,1	4,0
13	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8	3,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8	3,7
14	1,0	1,4	1,6	2,0	2,3	2,7	3,5	1,0	1,4	1,6	2,0	2,3	2,7	3,5
15	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,4	3,2	1,0	1,3	1,6	1,9	2,2	2,4	3,2
16	0,9	1,3	1,4	1,8	2,1	2,4	3,1	0,9	1,3	1,4	1,8	2,1	2,4	3,1
17	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,1	2,8	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,1	2,8
18	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,7	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	2,1	2,7
19	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,6	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,6
20	0,7	1,0	1,1	1,4	1,6	1,8	2,4	0,7	1,0	1,1	1,4	1,6	1,8	2,4
21	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,3
22	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	2,2	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	2,2
23	0,6	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,1	0,6	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	2,1
24	0,6	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6	2,0	0,6	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6	2,0

Tabla 26. Valores de los incrementos y de los incrementos alternados de precipitación (mm) calculados para los intervalos horarios de cada periodo de retorno.

3.5.4. MODELO METEOROLÓGICO DE HEC-HMS

Los datos de precipitación necesarios para simular los procesos hidrológicos sobre la cuenca se almacenan en el modelo meteorológico de HEC-HMS.

Se ha utilizado el método del hietograma definido por el usuario para la introducción de datos mediante la ubicación de la estación meteorológica de Grado. Se ha generado un hietograma para cada periodo de retorno en base a los datos obtenidos anteriormente.

3.6. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Una vez que se ha definido el modelo de cuenca con todos los parámetros necesarios (método de infiltración del número de curva, método del hidrograma unitario SCS para la transformación de la lluvia en esorrentía y método de Muskingum para la traslación de la lámina de agua) solamente queda determinar las especificaciones de control para obtener un modelo agregado por subcuencas que nos permita calcular los caudales punta para los periodos de retorno considerados en la desembocadura de la cuenca. Es en este sitio donde debemos

de centrar nuestro interés ya que es donde se realizará el estudio hidráulico que se alimenta fundamentalmente de este dato.

3.6.1. ESPECIFICACIONES DE CONTROL DE HEC-HMS

Las especificaciones de control uno de los componentes que son necesarios de determinar para realizar el análisis hidrológico.

Los parámetros que se deben de definir son la fecha y hora de comienzo y final del evento que en nuestro caso, al ser una tormenta de diseño, puede ser cualquiera con la única condición de que el intervalo definido sea mayor que el evento que hemos diseñado.

Además hemos de indicar el tiempo de paso, el cual tendrá influencia en otras variables como es el número de subtramos en que se debe de dividir cada tramo. Es necesario que este parámetro sea menor que el 29% del intervalo de tiempo que se ha utilizado al introducir los datos meteorológicos, que en nuestro caso era de sesenta minutos. Por todo ello, el tiempo de paso que se ha utilizado es de 3 minutos.

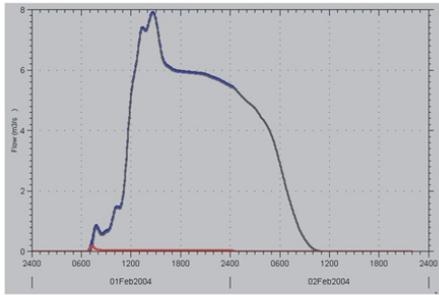
3.6.2. MODELO AGREGADO POR SUBCUENCAS: CAUDALES PUNTA

El HEC-HMS calcula el hidrograma agregado por subcuencas en base a toda la información que hemos definido, obteniendo los caudales punta en diferentes zonas de la cuenca de estudio para cada periodo de retorno. En la Tabla 27 se presentan estos resultados para la zona de desembocadura de la cuenca, que es donde se va a realizar posteriormente el estudio hidráulico. En la Figura 60 se presentan los hidrogramas para este punto.

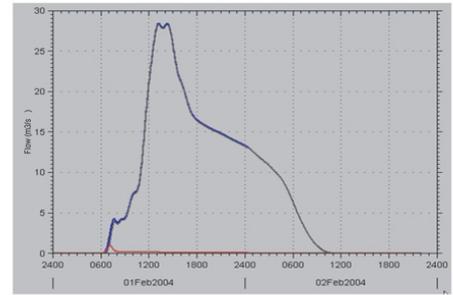
Periodo de retorno	Caudal punta en la desembocadura de la cuenca (m ³ /s)
2	7.92
5	28.34
10	49.32
25	88.86
50	128.12
100	168.66
500	296.64

Tabla 27. Caudales punta calculados para cada periodo de retorno en la desembocadura de la cuenca.

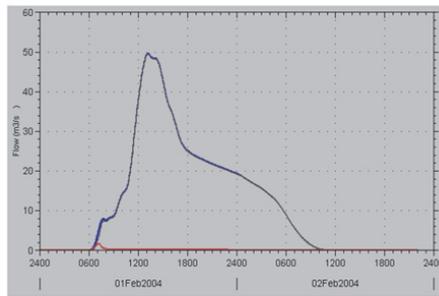
PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS



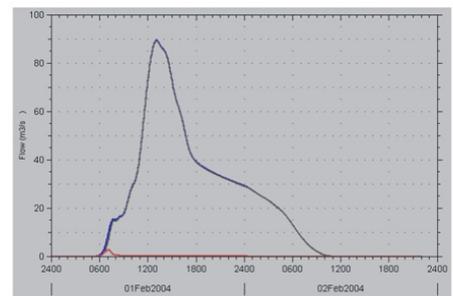
PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS



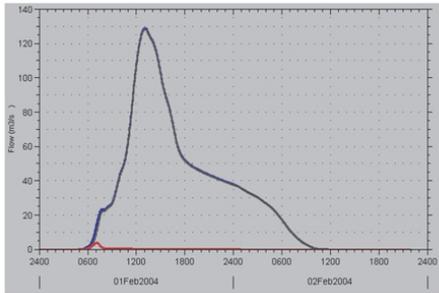
PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS



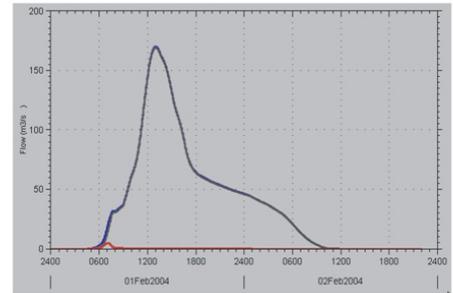
PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS



PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS



PERIODO DE RETORNO DE 500 AÑOS

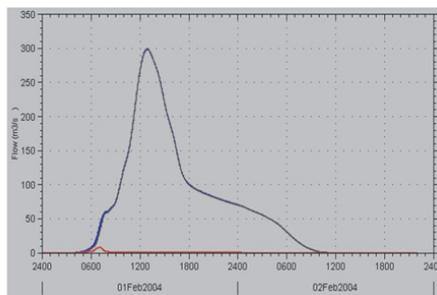


Figura 60. Hidrogramas estimados en la zona de desembocadura de la cuenca para diferentes periodos de retorno.

4. ESTUDIO HIDRÁULICO

Una vez que se han obtenido los caudales punta para los diferentes periodos de retorno ya es posible proceder al desarrollo del estudio hidráulico, cuyo objetivo es el de establecer la extensión y altura de la lámina de agua en una pequeña zona (Figura 1) aguas abajo de la desembocadura de la zona de estudio hidrológico.

Para realizar este estudio utilizaremos el software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) que es un programa informático para el análisis hidráulico de sistemas fluviales desarrollado por el US Army Corps of Engineers. HEC-RAS permite el cálculo de perfiles de lámina de agua con movimiento estacionario unidimensional por lo que nos restringiremos a este tipo de análisis. El método básico de cálculo está basado en la solución de la ecuación unidimensional de la energía, considerando las pérdidas de carga por fricción mediante la ecuación de Manning y por contracción-expansión mediante un coeficiente de pérdidas multiplicado por la variación de la carga de energía cinética (USACE 2000).

El estudio hidráulico se ha planteado en las siguientes etapas de trabajo: levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio, construcción de un modelo digital del terreno tipo TIN, integración de la información en HEC-RAS, delineación de la posición de los bancos y generación de secciones transversales al cauce, cálculo de la rugosidad del cauce y aplicación de un modelo gradualmente variado.

4.1. ANÁLISIS DEL TERRENO

Como ya se ha indicado con anterioridad es esencial en este tipo de análisis disponer de una base topográfica muy detallada, para ello se ha utilizado como base las curvas de nivel y los puntos acotados del Mapa topográfico 1:5000 del Principado de Asturias y se les ha añadido la información recopilada en una campaña topográfica desarrollada para este proyecto.

En ella se han utilizado tres sistemas de medición diferentes: el GPS diferencial en tiempo real, el sistema de estación total y prisma, y el sistema de estación total con láser.

En primer lugar, partiendo de un punto de coordenadas conocidas, se procedió al levantamiento de una red de bases de referencia mediante el sistema GPS. La técnica utilizada fue la de GPS diferencial en tiempo real, consistente en estacionar un receptor de referencia en un punto de coordenadas conocidas, situando otro receptor en un punto cuyas coordenadas se desean obtener. Una vez situados ambos receptores, la del receptor de referencia envía las correcciones oportunas para que el otro receptor las aplique a sus mediciones, obteniendo las coordenadas definitivas del punto en el cual está situado. Para estas bases de referencia el tiempo de observación fue de aproximadamente 10 minutos. Mediante el mismo sistema se procedió a la medición de toda la zona, situando los puntos en perfiles aproximadamente transversales al cauce del río, separados entre sí por una distancia de 5 metros. Para cada uno de estos puntos el tiempo de medición fue de aproximadamente 5 segundos.

Dado que la tecnología GPS requiere un horizonte despejado para su buen funcionamiento, su utilización no fue posible en diversas zonas, sobretodo las correspondientes a las orillas del río. Para proceder a la medición de estas zonas se determinó una nueva red de bases mediante mediciones GPS, a partir de las cuales se medirían estas zonas utilizando una estación total. Mediante el sistema de estación total y prisma se procedió a levantar estas zonas, teniendo que determinar en algunos casos nuevas estaciones destacadas a partir de las bases para cubrir bien toda la zona. Además, dado que la estación total estaba dotada de medidor láser, se procedió a medir con este sistema el mayor número posible de puntos en la orilla y talud del río donde era imposible el acceso.

Todos los puntos del trabajo, tanto los determinados con GPS como los determinados con estación total, tienen un error estimado inferior a los 0,050 metros. En la Figura 61 se presenta la topografía obtenida de esta forma.

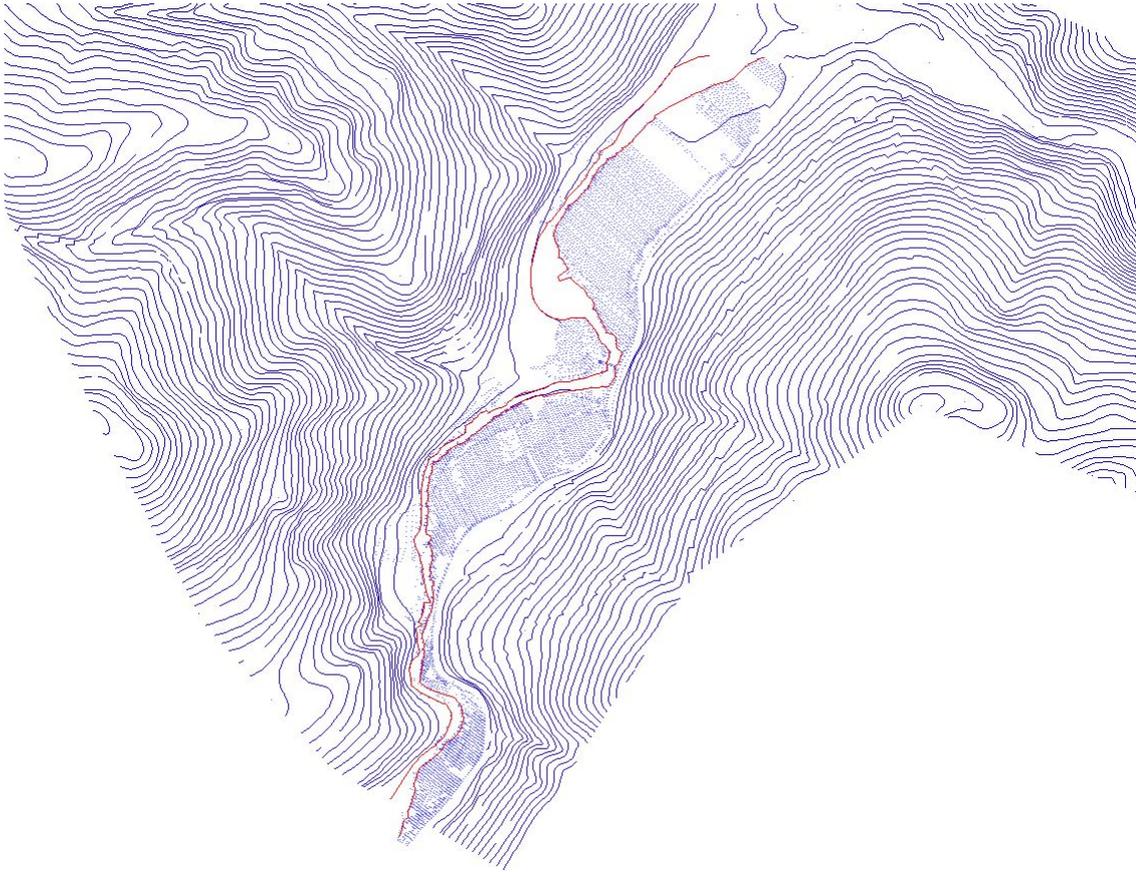


Figura 61. Topografía utilizada en la construcción del modelo digital del terreno. Está formado por curvas de nivel y puntos acotados del Mapa topográfico 1:5000 del Principado de Asturias y por puntos acotados mediante una campaña topográfica de las características comentadas en el capítulo.

En la Figura 61 se puede observar como la densidad de puntos acotados en la llanura aluvial es muy elevada pero, en cambio, es deficitaria en algunas zonas de la margen izquierda (aguas abajo) del río y principalmente en el cauce, es decir, hay un déficit de datos de batimetría lo que probablemente falsearía la capacidad de almacenamiento del cauce generando una extensión de la lámina de agua fuera del mismo superior a la real. A pesar de ello hemos seguido con el procedimiento planteado dado que carecíamos del tiempo necesario para ampliar la campaña de levantamiento topográfico.

El HEC-RAS requiere que el modelo del terreno utilizado sea en formato TIN (Triangulated Irregular Network) (Peucker et al., 1978) que está formado por una red irregular de triángulos con una estructura vectorial (a diferencia de los modelos digitales del terreno que, como ya se ha explicado, tienen una estructural matricial) que representa el terreno en tres dimensiones. Para construir este TIN se ha utilizado el comando *arctin* de ArcInfo Workstation 8.3. El modelo generado se presenta en la Figura 62.

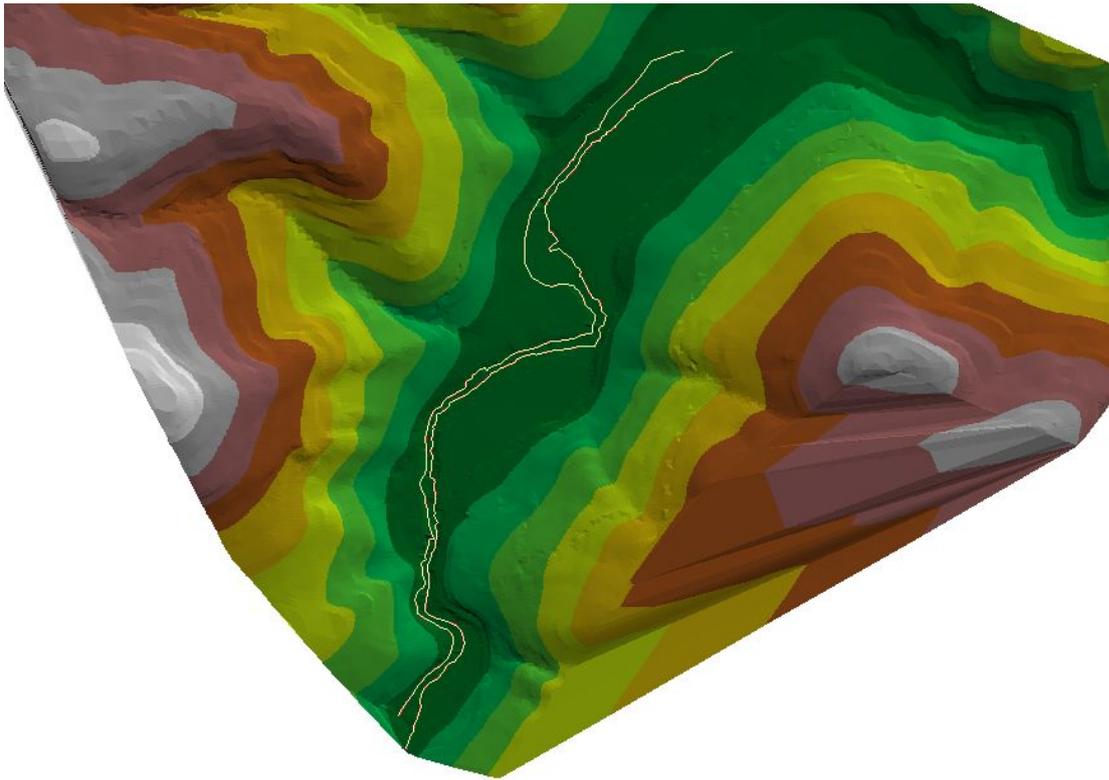


Figura 62. Modelo TIN de la zona de estudio del modelo hidráulico. Se indican los bancos del río.

4.2. INTEGRACIÓN EN HEC-RAS

En el software HEC-RAS se genera un proyecto en el que se introducen los datos del terreno mediante el modelo TIN que hemos desarrollado, la posición de los bancos del canal y de las secciones transversales que se crean oportunas. A partir de estos datos se extraerán los parámetros geométricos necesarios. Posteriormente se determinarán los parámetros de rugosidad y de tipo de flujo necesarios para los cálculos hidráulicos.

4.2.1. BANCOS Y SECCIONES TRANSVERSALES DEL CAUCE

Los bancos del canal (Figura 62) se han topografiado y posteriormente se han vectorizado mediante el sistema de información geográfica ArcView 3.2. En función de la posición de los bancos, del relieve generado por el modelo TIN y

de la localización de lugares de especial relevancia en relación con el régimen de flujo del río, tales como estrechamientos, rupturas de la pendiente del lecho y similares, se ha procedido a construir las secciones transversales al cauce (Figura 63). Cada una de estas secciones debe de ser identificada y la distancia entre las secciones cuantificada (Tabla 28).

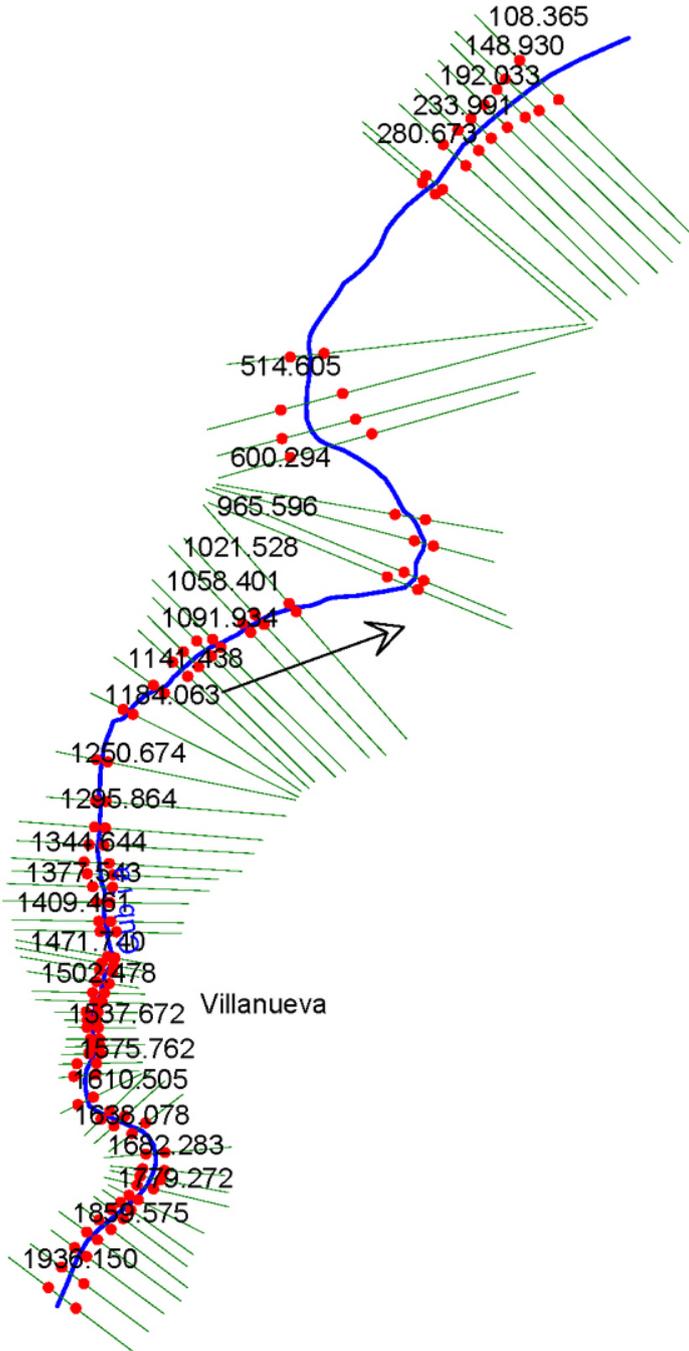


Figura 63 Secciones transversales generadas para la zona de estudio hidráulico.

IDENTIFICADOR DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	DISTANCIAS ENTRE SECCIONES AGUAS ABAJO		
	IZQUIERDA	CENTRO	DERECHA
1936,150	28,85	28,91	28,97
1908,275	28,44	27,63	26,83
1881,654	22,94	23,02	23,11
1859,75	23,82	20,54	17,26
1840,829	20,21	22,15	24,09
1822,719	12,90	14,43	15,96
1809,15	8,14	18,13	28,13
1796,34	9,84	25,2	40,56
1779,272	11,24	13,68	16,12
1767,792	5,85	12,72	19,60
1757,680	12,83	22,22	31,62
1739,323	9,62	44,46	79,31
1704,551	18,69	21,63	24,57
1682,283	14,65	17,03	19,42
1665,04	35,52	23,18	10,84
1638,078	39,95	22,33	4,71
1610,505	15,07	13,10	11,14
1596,351	11,54	11,34	11,15
1584,402	10,42	9,97	9,53
1575,62	9,34	9,35	9,37
1567,802	13,34	13,05	12,76
1554,915	8,75	8,60	8,46
1546,740	13,48	11,12	8,76
1537,672	26,51	20,02	13,54
1524,454	11,63	11,05	10,47
1514,142	22,13	15,92	9,72
1502,478	19,51	15,83	12,16
1489,104	12,13	10,58	9,04
1480,393	8,46	8,99	9,53
1471,740	11,74	30,55	49,36
1442,603	11,21	11,51	11,82
1430,657	24,70	24,18	23,67
1409,461	16,74	22,67	28,60
1392,040	16,59	16,88	17,18
1377,543	15,67	21,75	27,84
1364,808	22,01	23,37	24,74
1344,644	21,46	20,37	19,28
1325,236	40,59	38,89	37,19
1295,864	51,26	36,41	21,57
1250,674	75,92	40,60	5,29
1184,063	48,89	28,48	8,07
1141,438	40,75	25,28	9,82
1108,086	19,87	15,09	10,32
1091,934	22,11	23,14	24,17
1072,807	21,98	17,73	13,48
1058,401	42,20	36,49	30,78
1021,528	19,38	19,14	18,91

IDENTIFICADOR DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	DISTANCIAS ENTRE SECCIONES AGUAS ABAJO		
	IZQUIERDA	CENTRO	DERECHA
1004,272	43,24	36,25	29,27
965,596	6,39	87,87	169,36
835,849	15,45	16,53	17,61
823,058	8,21	34,61	61,01
783,675	6,08	20,2	34,32
751,234	8,11	82,60	157,10
627,928	24,72	27,34	29,96
600,294	30,92	55,56	80,20
568,413	75,51	41,8	8,09
514,605	298,03	151,49	4,95
280,673	11,57	13,13	14,69
271,684	45,04	36,52	28,00
233,991	24,95	21,56	18,17
211,461	19,85	19,21	18,57
192,033	20,05	22,20	24,36
170,974	23,88	22,05	20,22
148,930	14,60	19,10	23,61
133,314	28,93	22,91	16,90
108,365	108,36	108,36	108,36

Tabla 28. Distancias entre las secciones transversales generadas aguas abajo.

4.2.2. PÉRDIDA DE CARGA: N DE MANNING

El cálculo de la pérdida de carga se realiza mediante el coeficiente N de Manning o coeficiente de rugosidad. Su valor es muy variable y depende de numerosos factores, tales como la rugosidad de la superficie, las irregularidades del cauce, erosiones y depósitos, caudal, materiales en suspensión, carga del lecho, etc.

Como no ha sido posible calibrar experimentalmente este parámetro se han utilizado valores de 'n' de Manning calculados para otras corrientes de características similares.

En este trabajo se han introducido valores de 'n' de Manning de 0.6 para los bancos derecho e izquierdo y de 0.55 para el lecho.

4.2.3. MODELO UNIDIMENSIONAL GRADUALMENTE VARIADO

Se ha elegido utilizar un modelo unidimensional gradualmente variado. Para ello se han seleccionado condiciones de contorno normales, indicando una pendiente media de 5° para todo el recorrido y un flujo de tipo mixto. Se ha aplicado el caudal calculado para cada periodo de retorno y este valor se ha mantenido constante a lo largo de todo el recorrido.

4.3. RESULTADOS: EXTENSIÓN DE LA LÁMINA DE AGUA

Desde la Tabla 29 a la Tabla 32 se ofrece información detallada para cada sección transversal indicando el valor para cada periodo de retorno de: la cota de la lámina de agua calculada por la ecuación de conservación de la energía (m), la pendiente de la línea de energía (m/m), la velocidad media del flujo (m^3/s) y el número de Froude.

SECCIÓN	ELEV2	ELEV5	ELEV10	ELEV25	ELEV50	ELEV100	ELEV500
1936,15	98,32	99,2	99,8	100,75	101,57	102,36	104,33
1908,275	97,9	98,82	99,47	100,48	101,35	102,16	104,17
1881,654	97,73	98,6	99,27	100,3	101,19	102,01	104,02
1859,575	97,55	98,4	99,08	100,13	101,04	101,87	103,89
1840,829	97,25	98,18	98,9	99,98	100,91	101,75	103,79
1822,719	96,75	97,86	98,65	99,78	100,73	101,59	103,64
1809,815	96,46	97,66	98,49	99,65	100,62	101,49	103,54
1796,364	96,15	97,36	98,24	99,45	100,44	101,33	103,38
1779,272	95,61	96,9	97,84	99,14	100,17	101,09	103,16
1767,792	95,32	96,7	97,66	99	100,05	100,98	103,07
1757,68	95,17	96,56	97,54	98,89	99,94	100,89	102,98
1739,323	94,92	96,34	97,35	98,72	99,79	100,75	102,84
1704,551	94,29	95,9	96,95	98,36	99,43	100,41	102,49
1682,283	94,13	95,77	96,82	98,22	99,28	100,25	102,3
1665,604	94,06	95,69	96,73	98,12	99,17	100,11	102,14
1638,078	93,97	95,58	96,61	98	99,03	99,95	101,97
1610,505	93,8	95,4	96,44	97,83	98,86	99,76	101,79
1596,351	93,48	95,14	96,24	97,65	98,67	99,56	101,59
1584,402	92,81	94,82	96	97,43	98,45	99,33	101,35
1575,762	92,58	94,65	95,85	97,27	98,27	99,13	101,13
1567,802	92,53	94,59	95,77	97,17	98,15	98,99	100,94
1554,915	92,48	94,52	95,68	97,04	97,99	98,79	100,68
1546,74	92,46	94,47	95,61	96,94	97,85	98,63	100,46
1537,672	92,42	94,4	95,52	96,8	97,67	98,41	100,16
1524,454	92,39	94,33	95,42	96,64	97,44	98,11	99,73
1514,142	92,37	94,3	95,36	96,54	97,31	97,95	99,49
1502,478	92,33	94,23	95,26	96,4	97,11	97,71	99,16
1489,104	92,3	94,16	95,16	96,27	96,95	97,51	98,9
1480,393	92,26	94,1	95,07	96,18	96,83	97,38	98,72
1471,74	91,81	93,6	94,65	95,91	96,56	97,11	98,45
1442,603	91,28	92,91	93,96	95,13	95,83	96,42	97,82
1430,657	91,23	92,82	93,86	95	95,69	96,26	97,64
1409,461	91,12	92,62	93,59	94,71	95,37	95,92	97,24
1392,04	90,79	92,27	93,21	94,34	94,99	95,53	96,82
1377,543	90,32	91,89	92,87	94,06	94,69	95,22	96,48
1364,808	89,98	91,5	92,5	93,72	94,33	94,83	96,03
1344,644	89,62	91,16	92,15	93,36	93,93	94,4	95,52
1325,236	89,5	90,99	91,95	93,1	93,63	94,07	95,12
1295,864	89,39	90,72	91,6	92,61	93,07	93,44	94,35
1250,674	89,23	90,35	91,1	91,9	92,31	92,65	93,55
1184,063	89,08	89,94	90,47	91,12	91,59	91,98	93
1141,438	89,06	89,81	90,25	90,83	91,28	91,68	92,71
1108,086	89,02	89,67	90,06	90,61	91,04	91,44	92,47
1091,934	88,82	89,46	89,84	90,38	90,82	91,23	92,27

SECCIÓN	ELEV2	ELEV5	ELEV10	ELEV25	ELEV50	ELEV100	ELEV500
1072,807	88,09	88,96	89,36	89,93	90,39	90,82	91,89
1058,401	87,73	88,68	89,09	89,69	90,17	90,61	91,69
1021,528	87,21	88,24	88,68	89,3	89,8	90,25	91,33
1004,272	86,94	88,03	88,49	89,12	89,62	90,07	91,14
965,596	86,55	87,63	88,16	88,81	89,32	89,77	90,8
835,849	85,34	86,55	86,99	87,58	88,04	88,44	89,42
823,058	85,1	86,32	86,71	87,26	87,7	88,09	89,05
783,675	84,69	85,77	86,22	86,82	87,28	87,69	88,69
751,234	84,5	85,47	85,97	86,6	87,07	87,47	88,48
627,928	83,62	84,56	85,14	85,74	86,17	86,53	87,45
600,294	83,49	84,38	84,94	85,52	85,92	86,26	87,14
568,413	83,34	83,99	84,4	84,83	85,12	85,37	86,11
514,605	83,15	83,52	83,72	84,04	84,34	84,64	85,51
280,673	81,09	81,81	82,23	82,8	83,25	83,65	84,63
271,684	81,05	81,74	82,14	82,71	83,15	83,54	84,5
233,991	80,91	81,53	81,92	82,47	82,89	83,27	84,2
211,461	80,71	81,35	81,74	82,29	82,71	83,08	83,98
192,033	80,62	81,22	81,61	82,14	82,54	82,9	83,77
170,974	80,54	81,11	81,47	81,96	82,34	82,68	83,49
148,93	80,47	80,99	81,32	81,78	82,13	82,44	83,19
133,314	80,36	80,82	81,1	81,5	81,81	82,08	82,72
108,365	79,72	79,9	80	80,14	80,26	80,32	80,58

Tabla 29. Altura (m) de la lámina de agua en cada sección transversal calculada por la ecuación de conservación de la energía para cada periodo de retorno.

SECCIÓN	PEND.T2	PEND.T5	PEND.T10	PEND.T25	PEND.T50	PEND.T100	PEND.T500
1936,15	0,042001	0,021547	0,016186	0,011495	0,009181	0,00781	0,006335
1908,275	0,007235	0,008943	0,008463	0,007377	0,006495	0,005887	0,005309
1881,654	0,005243	0,006913	0,006798	0,006369	0,005875	0,005491	0,005199
1859,575	0,014497	0,011827	0,009977	0,008176	0,007141	0,006474	0,005956
1840,829	0,01995	0,012799	0,010449	0,008384	0,007263	0,00658	0,006093
1822,719	0,022554	0,013924	0,010868	0,008881	0,007618	0,006888	0,00644
1809,815	0,017212	0,012863	0,00972	0,00814	0,007119	0,006524	0,006267
1796,364	0,017814	0,015576	0,013042	0,009358	0,007806	0,007024	0,006648
1779,272	0,028895	0,01767	0,014528	0,010652	0,009262	0,007736	0,006769
1767,792	0,016234	0,012372	0,010866	0,008927	0,008322	0,007061	0,006352
1757,68	0,009053	0,008895	0,008367	0,007359	0,006823	0,006169	0,005853
1739,323	0,014778	0,010813	0,008759	0,006918	0,006591	0,005905	0,005669
1704,551	0,015141	0,0088	0,008195	0,008117	0,008185	0,008079	0,009186
1682,283	0,004172	0,004229	0,00457	0,005244	0,005823	0,007057	0,008078
1665,604	0,003835	0,004949	0,005512	0,006322	0,007222	0,008698	0,009667
1638,078	0,005104	0,006048	0,006493	0,00693	0,007488	0,008555	0,009158
1610,505	0,017021	0,017129	0,014239	0,012915	0,013326	0,013809	0,013591
1596,351	0,038858	0,02434	0,018416	0,016683	0,016534	0,01751	0,017567
1584,402	0,094148	0,0334	0,023768	0,020826	0,021685	0,022566	0,023224
1575,762	0,010529	0,009831	0,010939	0,013064	0,015051	0,016955	0,020376
1567,802	0,003916	0,005784	0,00712	0,009596	0,012077	0,014444	0,019069
1554,915	0,00323	0,00502	0,006605	0,009562	0,012526	0,015266	0,020881
1546,74	0,003002	0,00594	0,008316	0,013044	0,01713	0,020149	0,026263
1537,672	0,002036	0,004138	0,005868	0,008982	0,012381	0,015278	0,021716
1524,454	0,00129	0,00297	0,004728	0,007947	0,011205	0,014592	0,022224
1514,142	0,001984	0,003901	0,005818	0,008699	0,011858	0,0147	0,020475
1502,478	0,003055	0,004761	0,006711	0,008893	0,011653	0,013783	0,018257
1489,104	0,001691	0,003536	0,005501	0,007004	0,008954	0,010634	0,01431
1480,393	0,012037	0,010108	0,011882	0,011285	0,0131	0,014675	0,017944
1471,74	0,78632	0,87218	0,465859	0,133423	0,100793	0,081354	0,056953
1442,603	0,006083	0,008737	0,009577	0,014721	0,015794	0,016511	0,018293
1430,657	0,002848	0,006286	0,008093	0,010023	0,011299	0,012404	0,015021
1409,461	0,008695	0,011747	0,014539	0,01457	0,015403	0,016035	0,017856

SECCIÓN	PEND.T2	PEND.T5	PEND.T10	PEND.T25	PEND.T50	PEND.T100	PEND.T500
1392,04	0,028516	0,021564	0,020512	0,018112	0,018601	0,019268	0,020193
1377,543	0,027375	0,023306	0,019817	0,015896	0,0167	0,01747	0,019617
1364,808	0,00997	0,014275	0,015045	0,014309	0,015787	0,017029	0,02013
1344,644	0,025753	0,014107	0,013972	0,017009	0,01849	0,0202	0,02308
1325,236	0,002819	0,006008	0,00769	0,010217	0,011747	0,013225	0,017401
1295,864	0,002883	0,007774	0,010278	0,015378	0,017846	0,019862	0,023313
1250,674	0,006291	0,013786	0,019427	0,026458	0,029074	0,030322	0,030241
1184,063	0,002328	0,008368	0,013871	0,018575	0,019427	0,019543	0,019377
1141,438	0,000465	0,002962	0,00521	0,00809	0,009825	0,010926	0,012817
1108,086	0,01333	0,01689	0,01818	0,018978	0,018907	0,018568	0,017585
1091,934	0,016883	0,01682	0,017695	0,018218	0,01804	0,017479	0,016516
1072,807	0,071886	0,026993	0,023388	0,020273	0,018059	0,016701	0,015362
1058,401	0,009466	0,012407	0,013011	0,012734	0,012537	0,012172	0,012142
1021,528	0,02356	0,012994	0,011557	0,010527	0,010163	0,009998	0,010334
1004,272	0,00923	0,009534	0,009093	0,00899	0,009017	0,00905	0,010108
965,596	0,012715	0,013629	0,010393	0,009878	0,009811	0,010015	0,010724
835,849	0,013877	0,01055	0,014085	0,016634	0,018366	0,0195	0,021473
823,058	0,015064	0,01825	0,02177	0,024183	0,024993	0,025287	0,02478
783,675	0,014513	0,026917	0,024157	0,022048	0,021325	0,02102	0,020933
751,234	0,008318	0,012931	0,012948	0,013319	0,013655	0,013996	0,014638
627,928	0,012617	0,009319	0,008524	0,009131	0,009796	0,010406	0,011829
600,294	0,002307	0,004834	0,006491	0,007233	0,008152	0,008991	0,010691
568,413	0,002782	0,008475	0,012311	0,017144	0,020392	0,022263	0,023757
514,605	0,117259	0,137699	0,207893	0,173033	0,117749	0,086361	0,047662
280,673	0,007122	0,008623	0,008454	0,008502	0,008728	0,008986	0,009835
271,684	0,001948	0,004224	0,005167	0,00613	0,006774	0,007292	0,008565
233,991	0,010168	0,009302	0,009042	0,009134	0,00945	0,009791	0,010907
211,461	0,008505	0,009255	0,008952	0,00921	0,009691	0,010164	0,011604
192,033	0,003406	0,004995	0,005846	0,006962	0,007874	0,008639	0,010633
170,974	0,00302	0,004873	0,006093	0,007763	0,009032	0,010081	0,012922
148,93	0,003949	0,006107	0,00771	0,009847	0,011561	0,012952	0,016662
133,314	0,007414	0,010979	0,013404	0,016581	0,019307	0,021373	0,02748
108,365	4,946821	4,731573	4,566303	4,059655	3,575041	4,032719	3,094461

Tabla 30. Pendiente de la línea de energía (m/m) en cada sección transversal para cada periodo de retorno.

SECCIÓN	VELT2	VELT5	VELT10	VELT25	VELT50	VELT100	VELT500
1936,15	0,28	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,51
1908,275	0,19	0,29	0,34	0,38	0,41	0,43	0,51
1881,654	0,19	0,28	0,32	0,38	0,41	0,44	0,52
1859,575	0,17	0,21	0,24	0,31	0,35	0,39	0,48
1840,829	0,21	0,23	0,25	0,31	0,36	0,39	0,49
1822,719	0,34	0,34	0,36	0,41	0,44	0,47	0,56
1809,815	0,3	0,39	0,4	0,44	0,47	0,5	0,59
1796,364	0,33	0,44	0,48	0,49	0,5	0,52	0,61
1779,272	0,33	0,43	0,49	0,52	0,55	0,56	0,63
1767,792	0,27	0,38	0,44	0,49	0,54	0,55	0,62
1757,68	0,22	0,34	0,4	0,46	0,51	0,53	0,61
1739,323	0,26	0,37	0,41	0,45	0,49	0,52	0,6
1704,551	0,27	0,35	0,41	0,5	0,57	0,62	0,78
1682,283	0,18	0,28	0,34	0,44	0,51	0,61	0,76
1665,604	0,19	0,31	0,39	0,49	0,58	0,69	0,84
1638,078	0,19	0,31	0,39	0,48	0,55	0,64	0,78
1610,505	0,3	0,43	0,49	0,59	0,68	0,76	0,89
1596,351	0,4	0,46	0,52	0,63	0,71	0,8	0,96
1584,402	0,63	0,56	0,59	0,7	0,82	0,91	1,11
1575,762	0,29	0,46	0,57	0,73	0,86	0,98	1,24
1567,802	0,23	0,4	0,51	0,68	0,83	0,96	1,26
1554,915	0,19	0,34	0,45	0,62	0,77	0,91	1,2

SECCIÓN	VELT2	VELT5	VELT10	VELT25	VELT50	VELT100	VELT500
1546,74	0,21	0,41	0,56	0,79	0,98	1,13	1,46
1537,672	0,17	0,34	0,47	0,65	0,83	0,97	1,3
1524,454	0,14	0,29	0,42	0,61	0,77	0,93	1,28
1514,142	0,16	0,31	0,43	0,59	0,74	0,86	1,14
1502,478	0,19	0,34	0,46	0,6	0,74	0,84	1,09
1489,104	0,15	0,3	0,43	0,54	0,65	0,75	0,96
1480,393	0,24	0,38	0,49	0,56	0,65	0,73	0,91
1471,74	1,39	2	1,71	1,06	0,99	0,95	0,94
1442,603	0,22	0,37	0,47	0,68	0,76	0,82	0,98
1430,657	0,19	0,37	0,49	0,62	0,7	0,77	0,95
1409,461	0,24	0,43	0,57	0,67	0,74	0,8	0,96
1392,04	0,34	0,47	0,57	0,65	0,73	0,79	0,93
1377,543	0,34	0,45	0,54	0,6	0,67	0,73	0,89
1364,808	0,24	0,4	0,49	0,58	0,67	0,74	0,91
1344,644	0,27	0,38	0,48	0,65	0,73	0,81	0,98
1325,236	0,19	0,36	0,47	0,62	0,7	0,77	0,97
1295,864	0,2	0,42	0,54	0,75	0,85	0,93	1,09
1250,674	0,23	0,46	0,63	0,83	0,92	0,98	1,08
1184,063	0,17	0,39	0,54	0,69	0,75	0,79	0,88
1141,438	0,1	0,28	0,4	0,53	0,61	0,67	0,8
1108,086	0,23	0,35	0,41	0,49	0,54	0,58	0,67
1091,934	0,23	0,32	0,38	0,45	0,5	0,54	0,62
1072,807	0,48	0,38	0,42	0,46	0,49	0,52	0,6
1058,401	0,25	0,38	0,43	0,48	0,52	0,55	0,63
1021,528	0,35	0,37	0,39	0,43	0,46	0,49	0,57
1004,272	0,25	0,33	0,36	0,4	0,43	0,46	0,56
965,596	0,27	0,4	0,4	0,44	0,48	0,52	0,61
835,849	0,23	0,31	0,4	0,5	0,58	0,64	0,78
823,058	0,27	0,4	0,48	0,58	0,64	0,69	0,8
783,675	0,27	0,46	0,47	0,53	0,57	0,62	0,72
751,234	0,19	0,34	0,39	0,46	0,51	0,55	0,65
627,928	0,15	0,21	0,24	0,31	0,36	0,4	0,5
600,294	0,1	0,18	0,23	0,29	0,34	0,38	0,49
568,413	0,11	0,23	0,3	0,39	0,45	0,5	0,62
514,605	0,15	0,31	0,45	0,52	0,5	0,48	0,54
280,673	0,16	0,25	0,28	0,33	0,37	0,41	0,5
271,684	0,12	0,22	0,27	0,33	0,37	0,41	0,51
233,991	0,18	0,24	0,27	0,32	0,36	0,4	0,5
211,461	0,17	0,25	0,28	0,33	0,37	0,41	0,52
192,033	0,13	0,2	0,24	0,3	0,35	0,4	0,51
170,974	0,1	0,17	0,22	0,29	0,35	0,39	0,52
148,93	0,09	0,17	0,22	0,29	0,35	0,4	0,54
133,314	0,11	0,19	0,25	0,33	0,4	0,46	0,62
108,365	1,15	1,54	1,72	2,11	2,31	2,64	2,92

Tabla 31. Velocidad media del flujo (m³/s) en cada sección transversal para cada periodo de retorno.

SECCIÓN	FROUDE T2	FROUDE T5	FROUDE T10	FROUDE T25	FROUDE T50	FROUDE T100	FROUDE T500
1936,15	0,11	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06
1908,275	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
1881,654	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
1859,575	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
1840,829	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
1822,719	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
1809,815	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
1796,364	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,07
1779,272	0,1	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
1767,792	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
1757,68	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06

1739,323	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
1704,551	0,07	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
1682,283	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08
1665,604	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,08
1638,078	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
1610,505	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,09	0,1
1596,351	0,11	0,1	0,09	0,09	0,09	0,1	0,1
1584,402	0,18	0,12	0,1	0,1	0,11	0,11	0,12
1575,762	0,07	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12
1567,802	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12
1554,915	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,1	0,12
1546,74	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,12	0,14
1537,672	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,1	0,13
1524,454	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,1	0,13
1514,142	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11
1502,478	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,1	0,11
1489,104	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,1
1480,393	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,1
1471,74	0,34	0,39	0,31	0,17	0,15	0,14	0,12
1442,603	0,05	0,06	0,07	0,09	0,1	0,1	0,11
1430,657	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,1
1409,461	0,06	0,08	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11
1392,04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11	0,11
1377,543	0,1	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,11
1364,808	0,06	0,08	0,08	0,09	0,09	0,1	0,11
1344,644	0,09	0,08	0,08	0,1	0,1	0,11	0,12
1325,236	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,09	0,11
1295,864	0,04	0,06	0,08	0,1	0,1	0,11	0,12
1250,674	0,05	0,08	0,1	0,12	0,13	0,13	0,14
1184,063	0,03	0,06	0,08	0,1	0,1	0,11	0,11
1141,438	0,02	0,04	0,05	0,07	0,08	0,08	0,09
1108,086	0,07	0,08	0,09	0,09	0,1	0,1	0,1
1091,934	0,07	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
1072,807	0,15	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09
1058,401	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
1021,528	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08
1004,272	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
965,596	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
835,849	0,07	0,07	0,08	0,09	0,1	0,1	0,11
823,058	0,07	0,09	0,1	0,11	0,11	0,11	0,12
783,675	0,07	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11
751,234	0,05	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09
627,928	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
600,294	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08
568,413	0,03	0,06	0,07	0,09	0,09	0,1	0,11
514,605	0,14	0,18	0,23	0,22	0,19	0,17	0,14
280,673	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
271,684	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07
233,991	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08
211,461	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08
192,033	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08
170,974	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08
148,93	0,03	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09
133,314	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,12
108,365	0,94	1	1,01	1,02	0,99	1,07	1

Tabla 32. Número de Froude estimado en cada sección transversal para cada periodo de retorno.

En la Figura 64 se presenta la extensión de la lámina de agua para cada periodo de retorno. En ella se observan artefactos, sobre todo para periodos de

retorno pequeños, que son consecuencia de la interpolación del modelo digital de elevaciones en zonas con deficiencia de puntos acotados. Así mismo se ha detectado un probable sobredimensionamiento de la lámina de agua para el caudal correspondiente a cada periodo de retorno y que estaría relacionado con errores de interpolación como consecuencia del déficit de datos de batimetría en el canal.

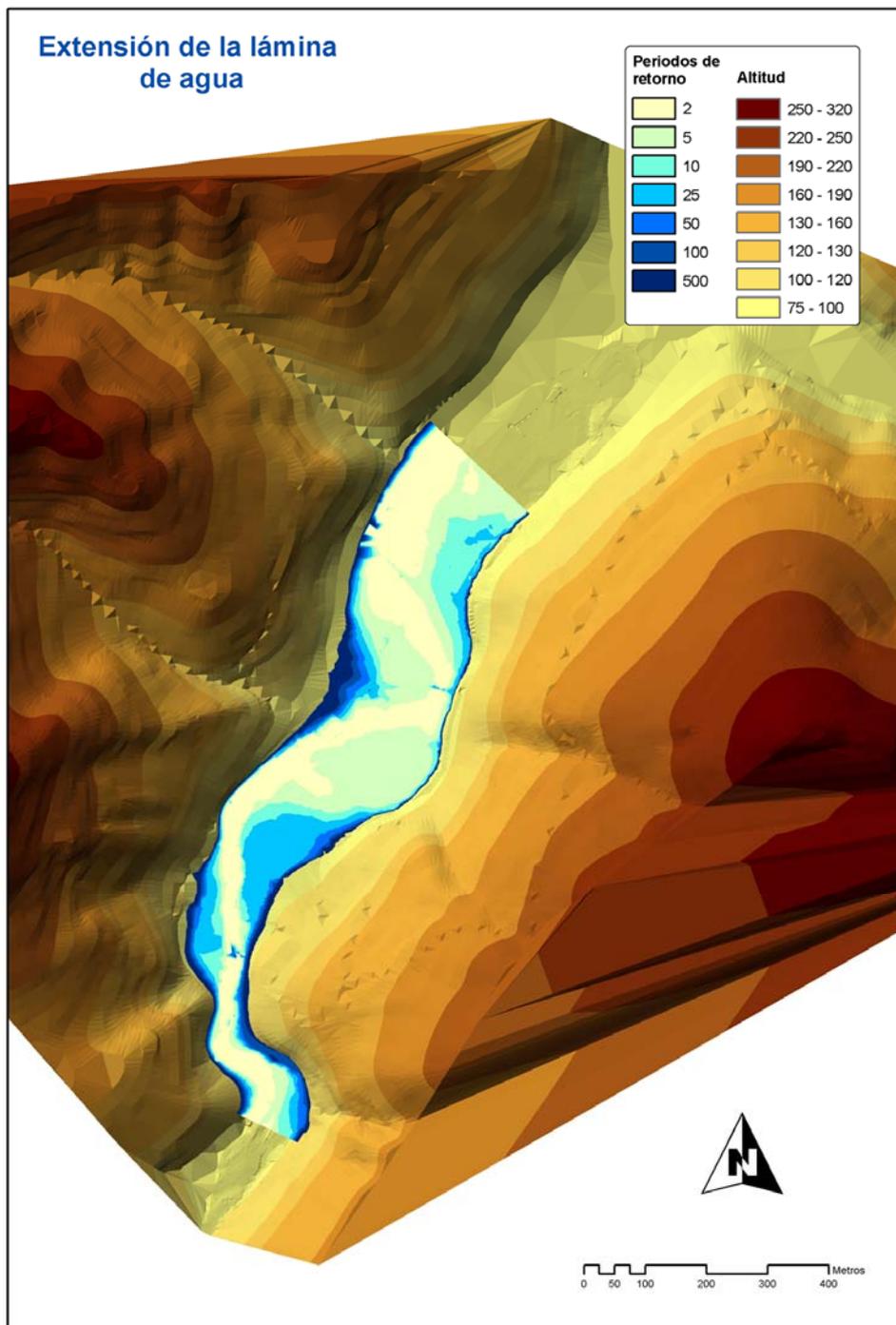


Figura 64. Extensión estimada de la lámina de agua para diferentes periodos de retorno.

En la Figura 65 se presenta una perspectiva del cauce en 3 dimensiones, lo que ofrece otra visión complementaria de la zona de estudio y de la altura y extensión que puede alcanzar la lámina de agua.

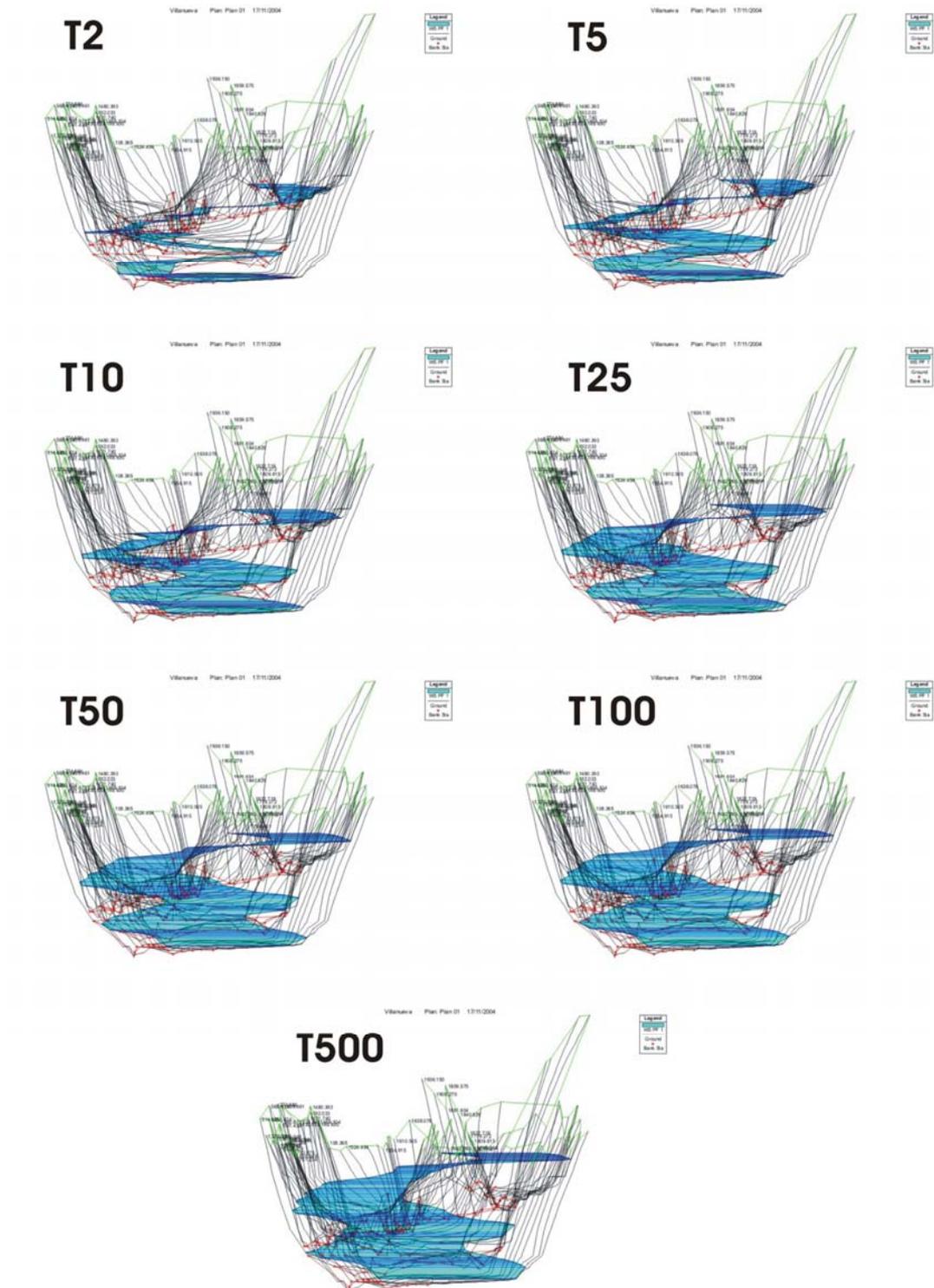


Figura 65. Visión panorámica en tres dimensiones de la lámina de agua para diferentes periodos de retorno.

5. CONCLUSIONES

En este capítulo se ha detallado la metodología utilizada para la modelización hidrológica e hidráulica de una zona en la cuenca del Cubia y se han presentado los resultados obtenidos de caudales punta con el primer modelo y de la altura de la lámina de agua con el segundo.

El objetivo principal del trabajo era el de obtener estos resultados y compararlos con la zonificación geomorfológica cartografiada para la misma zona y esto se ha conseguido parcialmente.

La metodología seguida en la modelización hidrológica ha resultado apropiada, así como la escala de detalle de los modelos digitales y de la información cartográfica utilizada, de modo que los resultados de caudales obtenidos han sido muy satisfactorios pese a la incertidumbre sobre la calidad de los datos meteorológicos de partida y a que el modelo no ha podido aún ser validado.

Los resultados de altura y extensión de la lámina de agua obtenida para cada periodo de retorno en la modelización hidráulica parecen excesivos y probablemente sea consecuencia de una interpolación errónea del modelo TIN como consecuencia del déficit de puntos acotados en el lecho del cauce.

Por esta razón no se ha realizado la comparación entre la zonificación geomorfológica y las alturas estimadas de lámina de agua por el modelo hidráulico, y se ha preferido proponer una nueva campaña de medición topográfica específica, probablemente utilizando nuevas técnicas, de aquellas zonas que han resultado problemáticas.

A la espera de que esta nueva campaña proporcione los datos necesarios para completar el análisis se pueden extraer algunas conclusiones previas, como que el modelo hidráulico final nos permitirá hacer una estimación de la altura y calado de la lámina de agua, y quizás de la velocidad del flujo, para cada periodo de retorno con una precisión directamente proporcional a la de la base

topográfica disponible, y que esta debe de ser más precisa que la realizada para este proyecto, al menos en lo que se refiere al lecho del cauce. Este hecho hace que este sistema de zonificación mediante modelización hidrológica-hidráulica sea poco práctico para realizar una campaña regional a una escala tan detallada como es la 1:5000 desarrollada en este proyecto, en comparación con la zonificación realizada utilizando criterios geomorfológicos. En cambio el sistema resulta muy preciso para estudios a escala local siendo, presumiblemente a falta del ensayo final, un excelente sistema de calibración del método geomorfológico en lo que se refiere a la estimación de los periodos de recurrencia.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aramburu, C. y Bastida F. (Editores) (1995). *Geología de Asturias*. Ediciones TREA S.L. Gijón. 314 pp.
- Bruma J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances Soil Science*, 9: 177-213.
- Burrough, P.A., (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford University Press, New York, p. 50.
- Camarasa A. M. (1995). *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranc de Carraixet y Rambla del Poyo*. MOPTMA, Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.
- CEDEX (1997). *Utilización de la Teledetección para la estimación del parámetro hidrológico del número de curva*. Informe Interno del Centro de Estudios hidrográficos, Centro de estudios y experimentación de obras públicas. Ministerios de Fomento y Medio Ambiente.
- CEDEX (2004). *Cálculo hidrometeorológico de aportaciones y crecidas (C.H.AC.)* Centro de estudios y experimentación de obras públicas. Ministerios de Fomento y Medio Ambiente. 65 pp.
- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- Dugger A. L. (1997) *Linking GIS with the Hydrologic Modelling System: An investigation of the Midwest Flood of 1993*. Degree of Master of Science in Engineering. 155 pp.
- Etoh T., Murota A., Nakanishi M. (1986). *SQRT – Exponential type distribution of maximum*. Proceeding of international symposium on flood frequency and risk analysis. Louisiana. 235-265.
- ESRI (2002). *ArcInfo Workstation 8.3*. Environmental Systems Research Institute (ESRI). Software provided with restricted and limited rights.

- Evans J. (2004). CTI.AML. USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station. <http://arcscripsts.esri.com/>.
- Felicísimo, A. M. (1994): El clima de Asturias. *Geografía de Asturias*, 2. Ed. Prensa Ibérica, S.A.
- Fernández S., Marquínez J. (2003). Predicting spatial distribution of soil properties in temperature oceanic mountain landscape using DTM's. *Journal of European Soil Science*. In press.
- Ferrer Polo F. J. (1991). *Frequency análisis of daily rainfall annual maximum series in Guadalhorce Basin*. Proc. XXIV IAHR Congress. Madrid (España). Vol. A., 21-30.
- Ferrer M., Rodríguez J., Estrela T. (1995). Generación automática del número de curva con Sistemas de Información Geográfica. *Ingeniería del Agua*, 2(4): 43-58.
- Ferrer Polo F.J. (2000). *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. CEDEX. 76 pp.
- Ferrer M. (2003). *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección*. CEDEX. 346 p.
- Francés F. y Benito J. (1995). La modelización distribuida con pocos parámetros de las crecidas. *Ingeniería del Agua*, 2(4): 43-58.
- Greenlee D. D. (1987). Raster and Vector Processing for Scanned Linework. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 53, No. 10, October 1987, pp. 1383-1387.
- Gobierno del Principado de Asturias (1996) *Mapa topográfico de escala 1:5000 del Principado de Asturias*. Consejería de Infraestructuras y Política Territorial. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo.
- Gray, D. and Wigham J. 1970. *Handbook of the Principles of Hydrology*. Section VIII. 6: Flood routing. Water Information Center. New York. USA. pp 8.47-8.63
- Jenson S. K. and J. O. Domingue. 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 54, No. 11, November 1988, 1593-1600.
- Krysanova V., Müller-Wohlfeil D. I., Becker A. 1998. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale watersheds. *Ecological Modelling*. 106: 261-289.
- Lacroix M. P., Martz L. W., Kite G. W., Garbrecht J. 2002. Using digital terrain analysis modeling techniques for the parameterization of a hydrologic model. *Environmental modelling and software*. 17: 127-136.
- Martínez de Azagra A. y Navarro Hevia J. (1995). *Hidrología forestal. El ciclo hidrológico*. Valladolid. Universidad de Valladolid. 286 pp.
- Martínez Fernández J. y Ceballos Barbancho A. (2001). *Estimación de las propiedades hídricas de los suelos mediante el uso de funciones de edafo-transferencia*. V

- jornadas sobre investigación en la zona no saturada, Pamplona, Universidad Pública de Navarra y Gobierno de Navarra.
- Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., and Petersen, G.A. (1993). Terrain attributes: estimation methods and scale effects. In: *Modelling Change in Environmental Systems* (A.J. Jakeman, M.B. Beck and M. McAleer, eds.) London: Wiley, 189 - 214.
- MOPT (1992). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. MOPT. 809 pp.
- NCRS (1999). *National Soil Survey Handbook*. 93 p.
- Peucker T.K., Fowler R.J., Little J.J., Mark D.M. (1978). *The triangulated irregular network*. Proceedings of the ASP Digital Terrain Models (DTM) Symposium. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia. 516-540.
- SCS (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. USDA.
- Témez J.R. (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU. Dirección General de Carreteras. 111 p.
- USACE (2000). *Hydrologic Modelling System HEC-HMS. Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers. 157 p.
- USACE (2001). *Hydrologic Modelling System HEC-HMS. User's Manual. Version 2.1*. US Army Corps of Engineers. 178 p.
- USACE (2002a). *HEC-RAS River Analysis System. User's Manual. Version 3.1*. U.S. Army Corps of Engineers.
- USACE (2002b). *HEC-GeoRAS. An extension for support of HEC-RAS using ArcView. User's Manual. Version 3.1*
- USACE (2003). *Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS User's Manual. Version 1.1*
- Vanacker V., Vanderschaeghe M., Govers G., Willems E., Poesen J., Deckers J., De Bievre B. (2003). *Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds*. 52: 299-315.
- Viessman W., Knapp G., Lewis G. And Harbaugh T. (1977). *Introduction to Hydrology. Theme: Hydrology routing*. 2nd edition. Harper & Row. New York, USA. Pp. 89-156.
- Wösten J., Lilly A., Nemes A., Le Bas C. (1998). *Using existing soil data to derive hydraulic parameters for simulation models in environmental studies and land use planning. Final report on the European Union Funded project*. Wageningen, DLO – Staring Centre.

**V. PELIGROSIDAD:
ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE
SISTEMAS TORRENCIALES**

La actividad torrencial agrupa un variado conjunto de procesos geomorfológicos que tienen lugar en relación con la dinámica de los cauces de orden menor de las redes de drenaje. La peligrosidad torrencial es una medida de la frecuencia e intensidad con que la actividad de este tipo de cauces pone en peligro las vidas humanas, viviendas, infraestructuras y otros elementos de riesgo que se encuentran situadas en sus proximidades.

Los sistemas torrenciales se caracterizan por poseer cuencas drenaje relativamente pequeñas, fuertes gradientes, caudales muy variables y una elevada competencia. La actividad de estos sistemas puede considerarse como un fenómeno mixto entre la dinámica fluvial y la dinámica de laderas, favorecido por tres factores: a) fuerte relieve; b) precipitaciones irregulares; y c) presencia de materiales no consolidados.

El abrupto relieve que caracteriza al Principado de Asturias propicia el desarrollo de sistemas torrenciales. La mayor parte de ellos se localizan a lo largo de la Cordillera Cantábrica, aunque también son frecuentes en escarpes no relacionados directamente con elevaciones montañosas, como es el caso de las sierras costeras.

Los sistemas torrenciales se caracterizan por un funcionamiento muy irregular a lo largo del tiempo: largos periodos de inactividad son interrumpidos bruscamente por eventos súbitos de corta duración (generalmente del orden de horas) durante los cuales tiene lugar la erosión, transporte y depósito de grandes cantidades de material. Al igual que en otras regiones montañosas de clima templado húmedo, los episodios torrenciales del Principado de Asturias están controlados fundamentalmente por episodios de lluvias de corta duración y elevada intensidad. En zonas de alta montaña la fusión del manto nival puede jugar también un papel relevante como condicionante y desencadenante de eventos torrenciales.

El grado de actividad de los sistemas torrenciales está condicionado por la disponibilidad en la cuenca de material susceptible a ser removilizados durante los episodios de actividad. En el entorno de la Cordillera Cantábrica, este tipo de material existe en abundancia en forma de depósitos superficiales y mantos de alteración, aunque su distribución es irregular y está controlada fundamentalmente por la litología del substrato y el relieve.

2. PECULIARIDADES DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES

No existe un límite conceptual neto entre las inundaciones de naturaleza fluvial y aquellas de tipo torrencial. Sin embargo, las avenidas torrenciales poseen una serie de características que les son propias, y que justifican un tratamiento especial en un análisis del riesgo por inundaciones. Los rasgos que definen este tipo de avenidas se describen a continuación.

2.1. IMPREVISIBILIDAD DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES

Las avenidas torrenciales son ocasionadas frecuentemente por tormentas convectivas de carácter local y de difícil predicción, especialmente en áreas montañosas (Kelsch *et. al.*, 2001). En otras ocasiones, estos eventos están asociados a procesos de desestabilización de laderas y roturas de presas naturales que son también difíciles de predecir, tanto temporal como espacialmente. Además, y debido a las dimensiones relativamente pequeñas de sus cuencas y a las elevadas pendientes, los tiempos de respuesta frente a las precipitaciones o la fusión del manto nival son muy pequeños, del orden de minutos a unas pocas horas (Kelsch *et. al.*, 2001). Contribuye a ello también la escasa capacidad de infiltración de los suelos en las cuencas torrenciales, que suele ser sensiblemente inferior a la de las cuencas fluviales.

Debido a estos factores las avenidas torrenciales se caracterizan por un alto grado de imprevisibilidad. La predicción meteorológica a largo plazo, que permite en numerosas ocasiones predecir las inundaciones fluviales con relativa seguridad, resulta por lo general impracticable en las cuencas torrenciales.

2.2. ALTA CAPACIDAD EROSIVA Y DE TRANSPORTE

La erosión de las cabeceras torrenciales es con frecuencia muy intensa debido a las elevadas pendientes y a la actuación de diferentes mecanismos de desestabilización de laderas. Grandes cantidades de sedimento pueden ser evacuadas en períodos de tiempo muy cortos, especialmente cuando las cuencas disponen de material no consolidado. Los canales y las partes distales de estos sistemas pueden también experimentar una intensa erosión, en especial durante grandes avenidas.

Los mecanismos implicados en el transporte del material erosionado se caracterizan por presentar una elevada carga y competencia, lo que agrava las consecuencias de las inundaciones torrenciales (Kelman y Spence, 2004). Las propiedades reológicas y la capacidad destructiva de estos mecanismos de transporte varían dentro de un amplio rango, definido fundamentalmente por la proporción agua/sedimento. En un extremo de este espectro se sitúan los flujos tractivos, que son los mecanismos de transporte típicos de los sistemas fluviales, caracterizados por una baja concentración de sedimento. En el otro extremo de este rango se sitúan los flujos de derrubios (*debris flows* en el sentido de Costa, 1988), caracterizados por una elevada proporción de sedimento y una elevada coherencia.

La mayor parte de los daños causados por las avenidas torrenciales son originados por los depósitos que transportan. La naturaleza de estos depósitos y el modo de sedimentación dependen fundamentalmente de la naturaleza de los mecanismos de transporte y del tipo de material removilizado aunque, por lo general, se trata de depósitos muy gruesos y de espesores importantes.



Figura 66. a) Escarpes erosivos relacionados con la formación de corrientes de derrubios en una cuenca torrencial del concejo de Ibias. b) Depósitos generados en la Fana del Putracón, junto a la localidad de Llamardal (Concejo de Somiedo) el 23 de agosto de 2003.

2.3. FORMACIÓN Y COLAPSO DE PRESAS NATURALES

La obstrucción de los cauces durante episodios de avenida es un fenómeno relativamente frecuente en los sistemas torrenciales, que está relacionado con dos tipos de procesos muy frecuentes en estas cuencas: los movimientos en masa y el taponamiento de tramos estrechos por acumulación de grandes fragmentos vegetales.

Los movimientos en masa responsables de la obstrucción de cauces torrenciales son muy variados, incluyendo las caídas de material, los deslizamientos y los flujos. La formación de presas naturales por medio de estos procesos es especialmente favorable en valles estrechos, sobre todo cuando la llegada de material procedente de la ladera se produce siguiendo trayectorias perpendiculares a los canales torrenciales (Costa y Schuster, 1988).

En climas templados y húmedos como el de la cornisa Cantábrica, donde se favorece el desarrollo de una densa cubierta vegetal, la obstrucción de canales torrenciales por acumulación de restos vegetales es muy común. Este tipo de fenómeno ocurre con relativa frecuencia en puentes, entubaciones y otras infraestructuras que generan una reducción considerable de la sección del cauce.

La evolución de estas presas naturales puede ser muy variada, dependiendo fundamentalmente de su naturaleza y del tipo de actividad de la cuenca. En algunas ocasiones tiene lugar un colapso del cierre y la liberación repentina del agua embalsada, así como de una gran cantidad de sedimento y restos vegetales. Los caudales punta de estas avenidas pueden llegar a ser muy superiores a los asociados a avenidas ordinarias, y su poder destructivo mucho mayor debido a la gran cantidad de carga que transportan (Jakob y Jordan, 2001; Wohl, 2000).

Debido a estas peculiaridades, las inundaciones de tipo torrencial suelen caracterizarse por un grado de peligrosidad superior al del medio fluvial. Prueba de ello es el hecho de que el mayor número de víctimas mortales relacionadas con inundaciones catastróficas en España tienen lugar en cuencas de naturaleza torrencial (Figura 68).

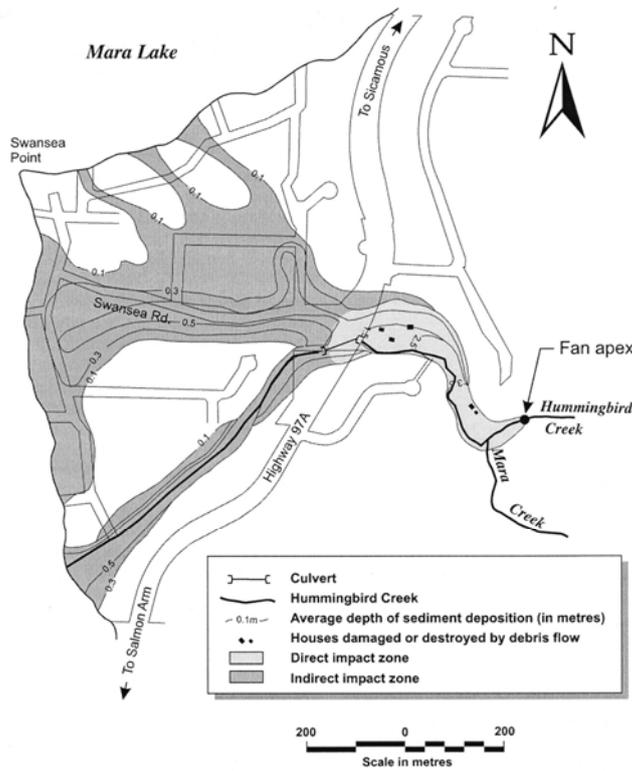


Figura 67. Mapa de las zonas dañadas por una corriente de derrubios en el abanico de Hummingbird Creek (Columbia Británica, Canadá) el 11 de julio de 1997. (Tomado de Jakob y Jordan, 2001)

La inundación catastrófica del Barranco de Arás, ocurrida en Agosto de 1996 en el Pirineo Aragonés, es uno de los desastres más recientes relacionados con la actividad torrencial en nuestro país. En apenas 10 minutos, 87 personas perdieron la vida a consecuencia de una avenida torrencial desencadenada por una tormenta convectiva. La inundación causó además daños por valor de 48 millones de euros, todo ello a pesar de la existencia de unas 40 presas en la cuenca y la canalización del cauce en el abanico aluvial (Gutiérrez *et. al.*, 1998; Alcoverro *et. al.*, 1999).

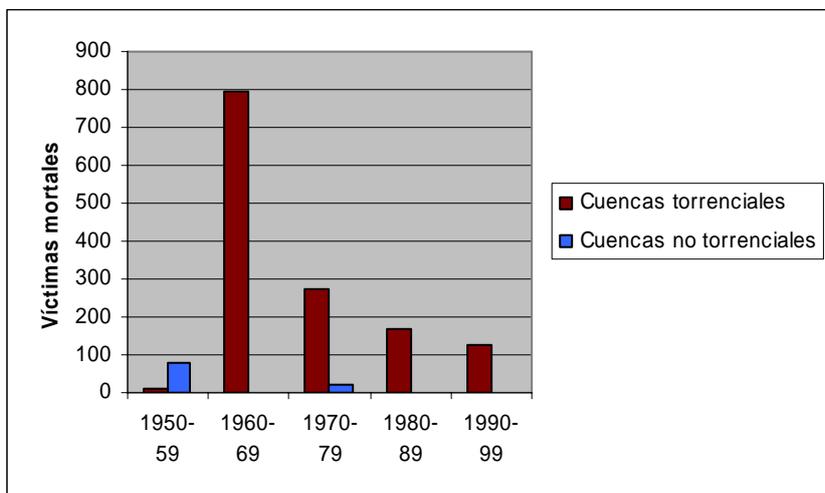


Figura 68. Comparación del número de víctimas en España por inundaciones catastróficas en cuencas torrenciales y fluviales. Modificado de Ayala-Carcedo (2002).

3. ANTECEDENTES

El análisis de la peligrosidad torrencial ha sido desarrollado fundamentalmente en cordilleras montañosas de países desarrollados, como es el caso de los Alpes, el archipiélago japonés y las Montañas Rocosas. En la mayor parte de los casos, estos estudios son financiados o promovidos por organismos públicos y están orientados a la elaboración de planes de ordenación del territorio.

Especial mención merece el caso de Austria, que cuenta con un equipo técnico responsable de la delimitación y clasificación de aquellas áreas susceptibles a ser afectadas por avenidas torrenciales. Los mapas de peligrosidad desarrollados por este organismo tienen validez legal, imponiendo restricciones al aprovechamiento del suelo, especialmente en lo que se refiere a la construcción de edificaciones y áreas recreativas (Aulitzky, 1994). Japón constituye también un caso notable en la gestión del riesgo torrencial, en un país donde la orografía, la geología y la climatología dan lugar a la generación de eventos torrenciales especialmente intensos.

En España la problemática de la peligrosidad torrencial no ha sido abordada hasta el momento de una manera sistemática. La cartografía de las áreas susceptibles a ser afectadas por avenidas torrenciales se limita a comunidades autónomas con planes de emergencia por inundaciones (Cataluña, País Vasco y Valencia) y otras zonas geográficas en las que se han llevado a cabo estudios locales (Pirineo Aragonés y Sierra Nevada, por ejemplo).

Tanto la metodología como el enfoque de los principales estudios llevados a cabo hasta la fecha varían mucho, dependiendo de los objetivos planteados y la escala de trabajo. Los trabajos más completos de la peligrosidad se fundamentan en el análisis de cuatro aspectos básicos:

- Identificación de las áreas torrenciales y procesos activos
- Magnitud de los procesos
- Frecuencia de los procesos

La identificación de las áreas torrenciales se fundamenta en el reconocimiento de elementos del relieve característicos de áreas torrencialmente activas, fundamentalmente abanicos aluviales. En cuanto al reconocimiento de los procesos activos, suele ser habitual la diferenciación entre dos tipos de sistemas en función del tipo de proceso dominante: a) flujos tractivos y b) corrientes de derrubios (Blair y McPherson, 1994). La sedimentología y geometría de los depósitos torrenciales son los criterios más válidos a la hora de identificar los mecanismos de transporte implicados (Costa, 1988, Whipple, 1993; Jakob y Jordan, 2001).

Sin embargo, este tipo de estudios requiere una inversión de medios y tiempo considerables que no siempre puede ser abordable a una escala regional. Basándose en la relación que existe entre la dinámica de los sistemas torrenciales y la morfología de sus cuencas y depósitos, algunos autores proponen el uso de índices morfométricos para la caracterización del tipo de procesos dominantes en cada uno de ellos (de Scally *et. al.*, 2001; de Scally y Owens, 2004).

El análisis de la magnitud y frecuencia de los eventos torrenciales varía en función de los procesos considerados. En sistemas torrenciales dominados por flujos tractivos se suelen aplicar los métodos estadísticos convencionales utilizados en ambientes fluviales, aunque con el inconveniente de que, en la mayor parte de los casos, se carece de datos de aforo y precipitaciones en la cuenca. Es también relativamente frecuente el empleo de paleoindicadores de avenidas, esencialmente depósitos y formas erosivas (Rico *et. al.*, 2001).

En sistemas torrenciales con un dominio de los mecanismos de transporte en masa, el cálculo de la magnitud de las avenidas se fundamenta en la estimación del volumen de material susceptible a ser removilizado durante un evento torrencial (Hungry *et. al.*, 1984). El análisis de la frecuencia con que este tipo de procesos tienen lugar se ha abordado mediante el uso de técnicas de datación absoluta, fundamentalmente dendrología y liquenometría (Van Henk, 1996).

Debido a la extensión del Principado de Asturias (10.500 km²) y al elevado número de sistemas torrenciales que existen en su territorio, el análisis de la peligrosidad torrencial a escala 1:5000 se ha centrado en la localización y delimitación de las zonas con mayor probabilidad de verse afectadas por avenidas torrenciales, sin entrar en el análisis de la magnitud y recurrencia de los mecanismos implicados.

Además de cartografiar las áreas de actividad torrencial del Principado de Asturias, en el presente trabajo se aborda la catalogación de los puntos conflictivos asociados a estos sistemas, los cuales son responsables directos o indirectos de la mayor parte de los daños causados por las avenidas torrenciales en la región.

El análisis de la peligrosidad se ha llevado a cabo de una manera selectiva, concentrando el esfuerzo en aquellos sistemas con un mayor grado de exposición. El esquema de trabajo seguido consta de dos partes: a) identificación y delimitación de zonas susceptibles de ser afectadas por avenidas torrenciales; y b) zonificación de la peligrosidad en sistemas con un alto grado de exposición. Ambos tipos de análisis se han basado en la interpretación de los elementos del relieve, tanto los naturales como los introducidos por el hombre. Parte de la interpretación se apoya además en evidencias históricas de avenidas torrenciales extraídas de la recopilación de información sobre inundaciones históricas u obtenidas durante las labores de trabajo de campo.

4.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS TORRENCIALES

La identificación de las zonas susceptibles a sufrir avenidas torrenciales se ha llevado a cabo mediante el análisis de la topografía 1:5000 y del material fotogramétrico disponible para la región asturiana (Tabla 33).

FECHA	ESCALA	TIPO	PROCEDENCIA
1995	1:5.000	Topografía digital	Principado de Asturias
1957	1:15.000	Fotos estereoscópicas B/N	Servicio cartográfico del ejército
1969	1:23.000	Fotos estereoscópicas B/N	C. Infraestructuras
1994-95	1:18.000	Fotos Estereoscópicas B/N	Principado de Asturias
1996-98	1:25.000	Ortofotomapa Color	Principado de Asturias
2003	1:15.000	Fotos estereoscópicas Color	Principado de Asturias

Tabla 33. Topografía y material fotogramétrico empleado en la identificación de las áreas torrenciales.

Teniendo en cuenta la escala regional del trabajo, y tras efectuar un análisis previo de la distribución del fenómeno torrencial, se ha establecido un umbral mínimo de análisis que parte de 3000 m² de superficie.

Aunque tradicionalmente el análisis de la peligrosidad torrencial se ha limitado al ámbito de los abanicos torrenciales, en el presente trabajo se ha adoptado un enfoque más amplio, extendiéndose el concepto a otras zonas susceptibles de sufrir los efectos de las avenidas de tipo torrencial, y que por sus características topográficas y geomorfológicas no desarrollan depósitos en forma de abanico. De esta forma se han considerado tres tipos de contextos asociados a la actividad torrencial:

- a) Abanicos aluviales
- b) Desencajamiento de cauces torrenciales
- c) Fondos de valles torrenciales.

4.1.1. ABANICOS ALUVIALES

Se han incluido dentro de esta categoría todos aquellos cuerpos sedimentarios con una morfología en planta en forma de abanico y cuyos ápices coinciden con zonas de desencajamiento y/o disminución brusca de la pendiente de canales torrenciales. No se han incluido en esta categoría aquellos abanicos

aluviales con signos evidentes de abandono, como es el caso de algunos abanicos en los valles de Degaña y Caudal, donde el encajamiento de los cauces torrenciales es muy marcado.

La interacción de los procesos torrenciales con otros asociados a la dinámica fluvial y de laderas desdibuja en muchas ocasiones esta morfología. La actividad antrópica también altera la apariencia original de los depósitos, en particular en zonas urbanizadas, graveras y rellenos artificiales. Debido a estas modificaciones, la morfología de los abanicos aluviales resulta en ocasiones difícil de reconocer en la topografía, recurriendo en estos casos a una serie de criterios auxiliares para la identificación de este tipo de depósitos:

- Existencia de depósitos recientes reconocibles en fotografía aérea.
- Desviación del trazado de cursos fluviales.
- Cambios en la vegetación y morfología del terreno con respecto a las laderas.

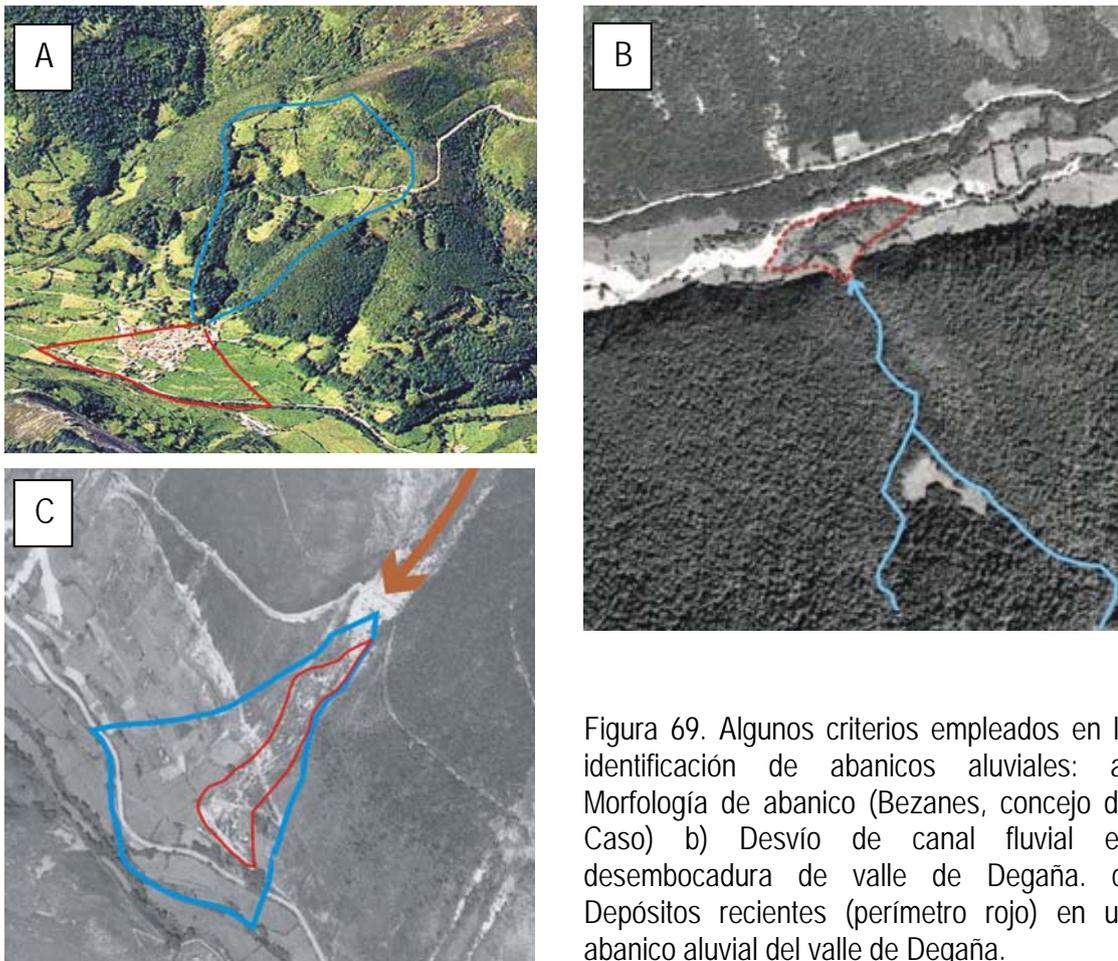


Figura 69. Algunos criterios empleados en la identificación de abanicos aluviales: a) Morfología de abanico (Bezares, concejo de Caso) b) Desvío de canal fluvial en desembocadura de valle de Degaña. c) Depósitos recientes (perímetro rojo) en un abanico aluvial del valle de Degaña.

En esta categoría se han incluido determinados depósitos en forma de abanico, emplazados en zonas de alta montaña y cuya génesis está relacionada con la actividad nival. Más concretamente, se han considerado dentro del análisis de la peligrosidad los sistemas que, aunque los aludes de nieve representen el principal mecanismo de transporte y depósito, en ellos existe además una dinámica torrencial activa durante los meses más cálidos. El principal criterio empleado para separar los abanicos de aludes con actividad torrencial de los sistemas con una actividad exclusivamente nival es la morfología de los canales que alimentan a los depósitos, de tal forma que los primeros se caracterizan por presentar canales más estrechos y encajados y los segundos, no incluidos en el análisis, presentan canales anchos y poco profundos.

4.1.2. DESENCAJAMIENTO DE CAUCES TORRENCIALES

Se han definido como zonas de desencajamiento de cauces torrenciales aquellas áreas situadas aguas abajo de los canales torrenciales que pierden su confinamiento de una manera brusca. Estos sistemas no están asociados a depósitos en forma de abanico reconocibles en la topografía ni a cualquiera de los criterios mencionados en el apartado anterior (Figura 70). A pesar de la ausencia aparente de depósitos torrenciales, la morfología de estas zonas permite suponer un tipo de actividad parecida a la de los abanicos torrenciales, pues se favorece de igual modo la avulsión de los canales torrenciales, es decir, la expansión del flujo más allá de las márgenes de los canales.

La cartografía de este tipo de áreas susceptibles de sufrir avenidas torrenciales se ha llevado a cabo teniendo en cuenta la morfología de las laderas, en particular la dirección de las líneas de máxima pendiente y la existencia de escarpes.

La mayor parte de las zonas de desencajamiento torrencial están relacionadas con la morfología natural de las laderas, pero en un pequeño porcentaje la causa del desencajamiento es debido a la acción antrópica, sobre todo a la existencia de escombreras.

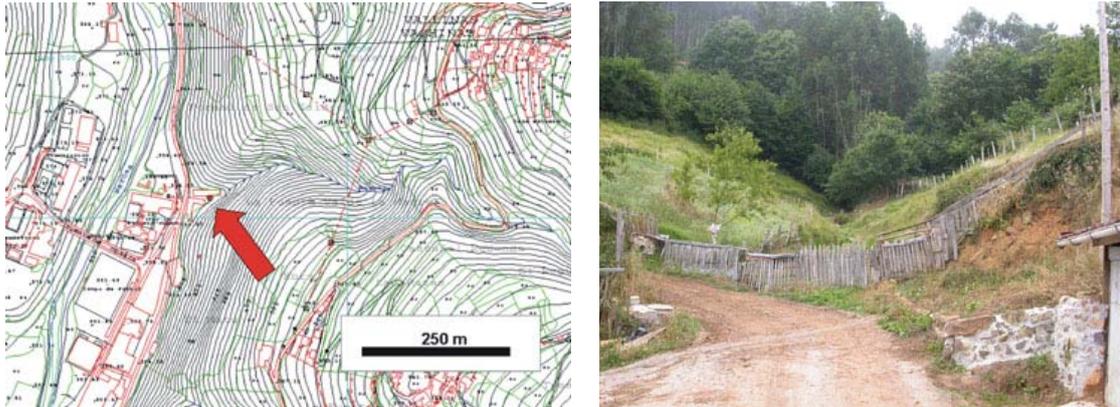


Figura 70. Desencajamientos torrenciales: a) Desencajamiento de canal torrencial al norte de Cangas de Narcea (izquierda). b) Detalle de desencajamiento torrencial en Sama (derecha).

4.1.3. FONDOS DE VALLE TORRENCIALES

Los sistemas torrenciales generalmente excavan sus canales directamente en el substrato o sobre depósitos poco potentes, dando lugar a valles de laderas muy escarpadas. Debido a ello, las avenidas suelen quedar confinadas en una estrecha franja en torno al canal, y las áreas que pueden verse afectadas por avenidas no son muy extensas. Sin embargo, estos sistemas llegan a generar en ocasiones depósitos de fondo de valle con morfologías relativamente planas susceptibles de sufrir avenidas torrenciales.

La identificación y delimitación de estos fondos de valle se ha basado fundamentalmente en su morfología, y particularmente en la pendiente. Los fondos de valle torrenciales se caracterizan por presentar una superficie muy irregular, con abundancia de barras laterales y canales abandonados (Figura 71). En cuanto a su pendiente, estas zonas torrenciales se diferencian de las llanuras fluviales por desarrollar gradientes superiores. La pendiente media de los fondos de valle cartografiados es de 8.15, mientras que en las llanuras fluviales este valor se sitúa en torno a los 3.47.



Figura 71. Panorámica del fondo de valle torrencial del río Morcín, en el concejo de Morcín (a) y su representación cartográfica (b).

4.2. ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD TORRENCIAL

Cada uno de los sistemas torrenciales identificados se ha clasificado atendiendo al número y naturaleza de los elementos amenazados que aparecen en sus áreas de influencia, siguiendo los criterios mostrados en la Tabla 34:

GRADO DE EXPOSICIÓN	TIPO DE AFECCIÓN
Exposición nula	Sin vulnerabilidad significativa
Exposición leve	Vías de comunicación y tendidos eléctricos.
Exposición moderada	Edificaciones aisladas
Exposición alta	Poblaciones, áreas industriales y centros hospitalarios y de enseñanza

Tabla 34. Clasificación de las áreas torrenciales en función del grado de exposición.

Las zonas torrenciales con un grado de exposición elevado han sido seleccionadas para llevar a cabo un análisis detallado y la zonificación de la peligrosidad torrencial. Concretamente se han seleccionado aquellos sistemas en los que, utilizando la cartografía de edificaciones que muestra la topografía 1:5000, aparecen más de 20 edificaciones cuyos usos pueden ser de tipo vivienda, industrial, ganadero, etc. El resto de zonas torrenciales, con una

exposición moderada o inferior, se han agrupado dentro de la categoría de *Peligrosidad Torrencial Indiferenciada*.

La zonificación de la peligrosidad torrencial se basa en la interpretación de los depósitos, formas erosivas y modificaciones antrópicas, teniendo en cuenta además las alturas relativas de las unidades con respecto a los canales y la situación de tramos de los cauces susceptibles a sufrir fenómenos de avulsión. Se han diferenciado tres niveles de peligrosidad:

- A) Peligrosidad torrencial alta.** Esta zona alberga los canales activos de los sistemas torrenciales considerados.
- B) Peligrosidad torrencial media.** Abarca aquellas áreas de actividad torrencial que cumplen al menos uno de estos supuestos:
 - Existen evidencias históricas de que han sido afectadas por al menos una avenida torrencial (figura 7.a).
 - Tienen una elevación insuficiente por encima del canal torrencial. Esta altura puede ser de hasta 1.5 metros, en función de las características del sistema torrencial, fundamentalmente del área de la cuenca de drenaje.
 - Se encuentran aguas abajo de un punto de avulsión potencial. Se consideran como tales aquellos tramos de los canales torrenciales en los que tiene lugar una disminución brusca de la sección, asociada a un desencajamiento o a un relleno del canal. También se consideran puntos de posible avulsión puentes y entubaciones de poca sección que puedan ser obstruidos con facilidad por sedimento y material flotante, fundamentalmente vegetación (Figura 72).
- C) Peligrosidad torrencial baja.** Esta categoría se aplica a aquellas zonas torrenciales identificadas por fotointerpretación que no puedan ser incluidas dentro de las dos categorías anteriores. Se trata de zonas relativamente elevadas y alejadas de los canales torrenciales, en las que no existe información de inundaciones históricas ni evidencias claras de su afección por inundaciones torrenciales. Sin embargo, su ubicación dentro del depósito torrencial o en el área de afección obliga a incluirlos en la zonificación peligrosidad.



Figura 72. Criterios empleados en las zonas con peligrosidad media. a) Izquierda: Daños ocasionados por la avenida torrencial de Contraquil (Cangas de Onís), 6-12-1996 (Fotografía de Eduardo Navarro, Jefe de Zona de Bomberos de Asturias), b) Desencajamiento de cauce torrencial agravado por un drenaje soterrado que muestra una sección insuficiente.

5. RESULTADOS

Debido a la variedad de procesos implicados durante los eventos torrenciales, resulta difícil evaluar los posibles impactos que éstos podrían causar en los elementos artificiales que están presentes en su área de influencia. En consecuencia, no se ha abordado el análisis del riesgo torrencial, pero sí se ha incluido en los mapas finales, relativos al riesgo de inundación en las llanuras fluviales, la capa temática con la cartografía y zonificación de la peligrosidad torrencial a escala 1:5.000.

5.1. DISTRIBUCIÓN DE LA PELIGROSIDAD TORRENCIAL

Tal y como puede apreciarse en la Figura 73, el fenómeno torrencial en el Principado de Asturias se reparte ampliamente por todo el territorio, aunque de una manera irregular. La mayor parte de las áreas amenazadas se distribuyen a lo largo de los principales cursos fluviales, en los puntos donde los canales torrenciales alcanzan las llanuras fluviales, pierden repentinamente su confinamiento y sufren una disminución brusca de sus gradientes. Por su parte, los fondos de valle torrencial se distribuyen de una manera más dispersa, siguiendo los cauces de orden menor en zonas montañosas.

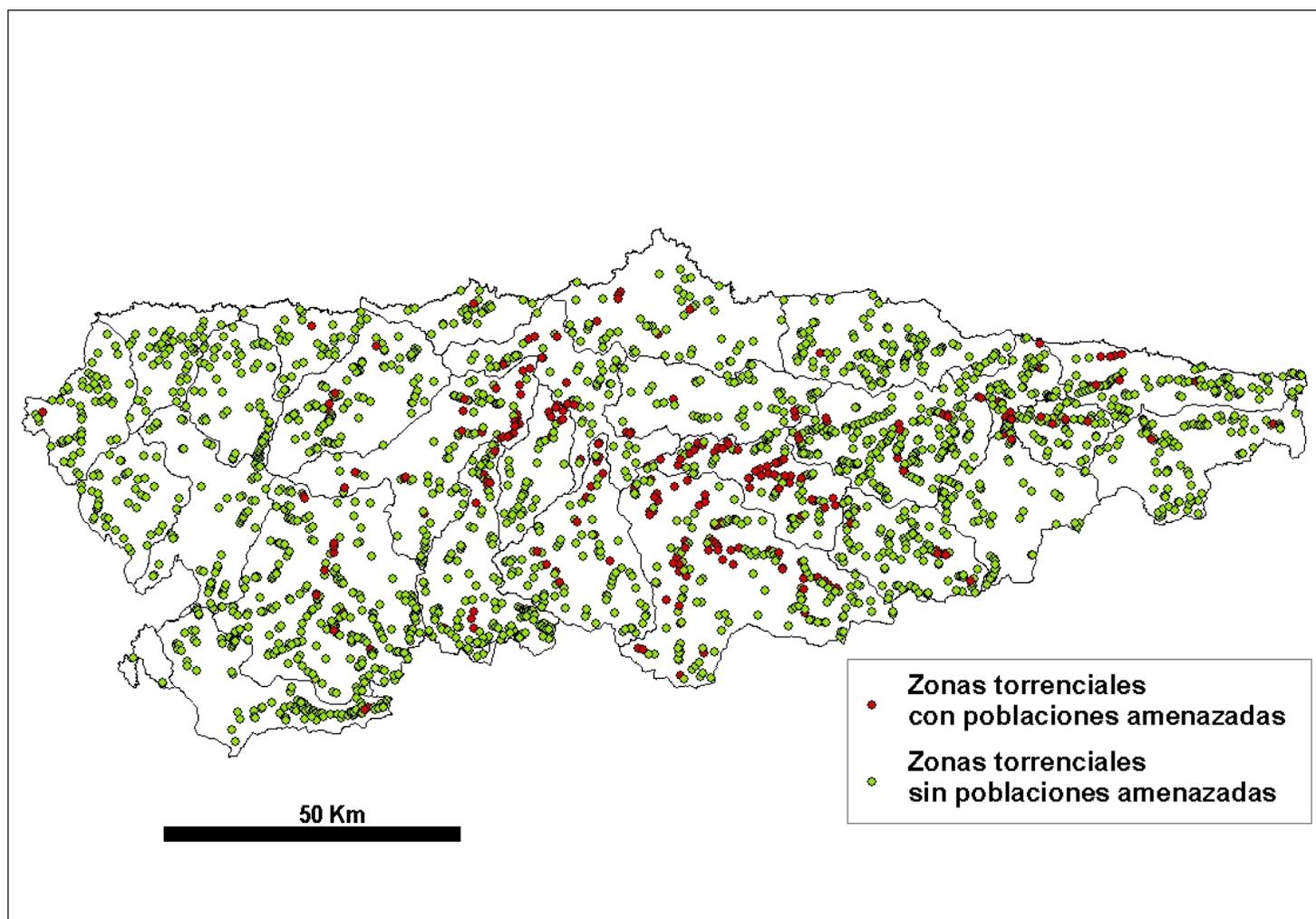


Figura 73. Distribución de las zonas amenazadas por actividad torrencial en el Principado de Asturias.

El número total de sistemas torrenciales cartografiados es de 2394, de los cuales, el 65% están representados por abanicos aluviales. Las zonas de encajamiento y los fondos de valle torrencial tienen una representación menor, como se muestra en el gráfico de la Figura 74.

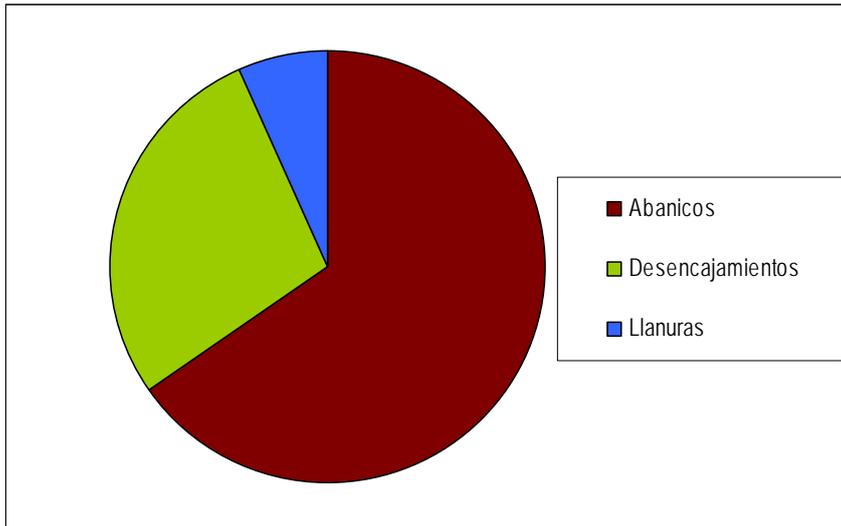


Figura 74. Proporciones de los tipos de zonas torrenciales cartografiadas.

La mayor parte de los sistemas torrenciales se sitúan en zonas relativamente apartadas, en los que no aparecen infraestructuras viarias ni usos edificados. Debido a ello, el grado de exposición de más de la mitad de las zonas torrenciales es bajo o nulo (Figura 75). Sin embargo, y aunque solamente un 10% de los sistemas torrenciales cartografiados amenazan a núcleos edificados relativamente importantes, la población amenazada es muy importante si tenemos en cuenta que existen 244 núcleos expuestos a la actividad torrencial.

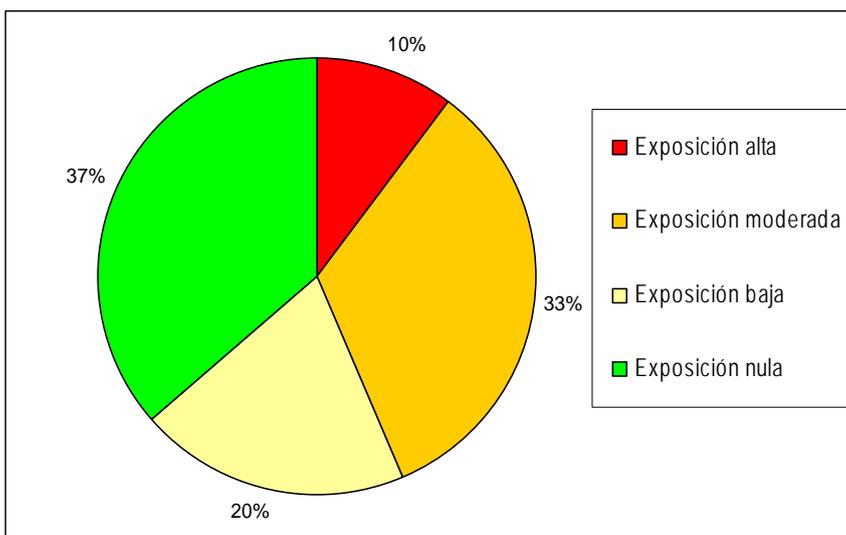


Figura 75. Tipos de zonas torrenciales cartografiadas en función del grado de exposición.

En la Figura 76 puede apreciarse la distribución espacial de los sistemas torrenciales con un alto grado de exposición, y en los cuales se ha llevado a cabo la zonificación de la peligrosidad torrencial. La mayor parte de ellos se sitúan en torno a zonas densamente pobladas, como es el caso del corredor del Nalón, el curso medio del río Narcea, Grado y el tramo final del río Aller. Otros núcleos urbanos importantes amenazados por la actividad torrencial son Proaza, Saliencia, Cerredo, Cangas de Onís y Navelgas.

La proporción de superficie afectada por la actividad torrencial varía significativamente de unas cuencas hidrográficas a otras. Por lo general, la mayor concentración de sistemas torrenciales tiene lugar en cuencas hidrográficas con elevado relieve y fuertes pendientes, como es el caso de las cuencas del Ibias, Sil, Cubia y Piloña, mientras que los valores más bajos coinciden con relieves suaves, como ocurre en la cuenca río Nora y en la franja costera central. Sin embargo, existen notables excepciones a esta regla que ponen de manifiesto que la topografía no es el único factor condicionante de la actividad torrencial. Especialmente significativo es el caso de las cuencas altas de los ríos Nalón y Sella, en los que a pesar de existir relieves muy abruptos, la importancia del fenómeno torrencial es escasa.

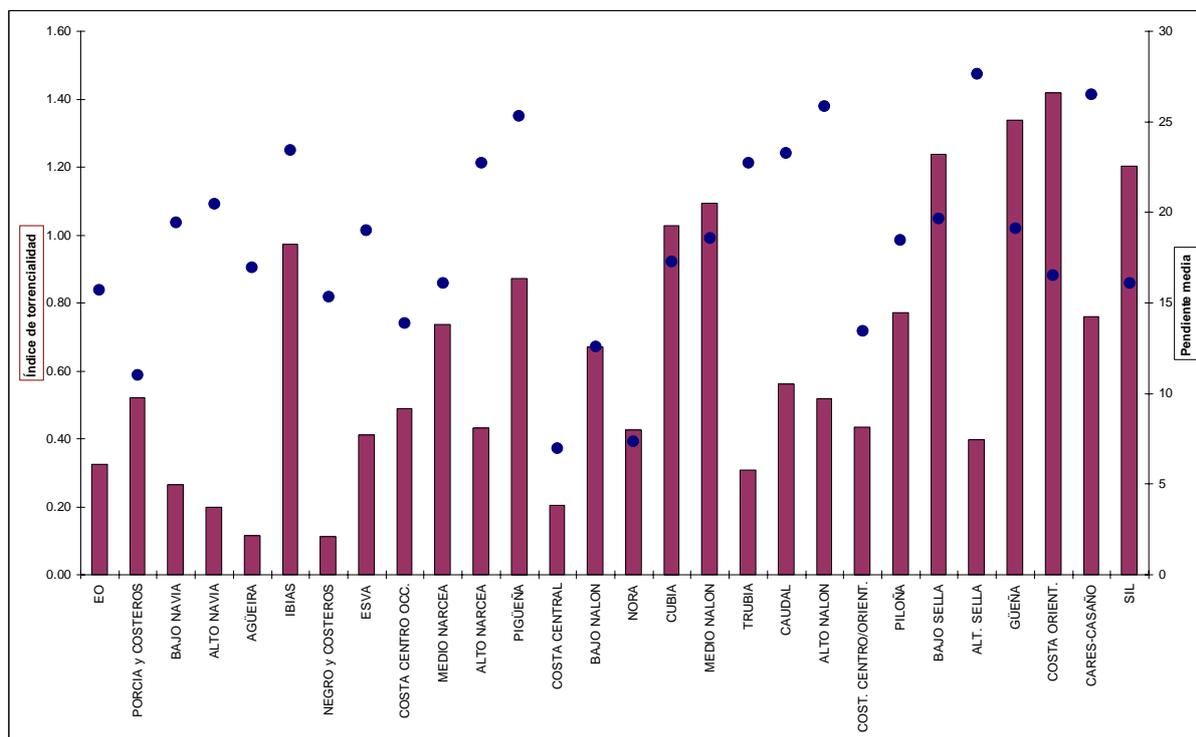


Figura 76. Porcentaje de superficie amenazada por la actividad torrencial por cuencas.

5.2. ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD TORRENCIAL

Del total de superficie cartografiada en el mapa de peligrosidad torrencial, algo más de una cuarta parte se ha zonificado en base a los criterios descritos en el apartado metodológico. El resto de la superficie, que ha sido definida por fotointerpretación, queda catalogada dentro de la categoría de “peligrosidad torrencial indiferenciada” (Figura 77).

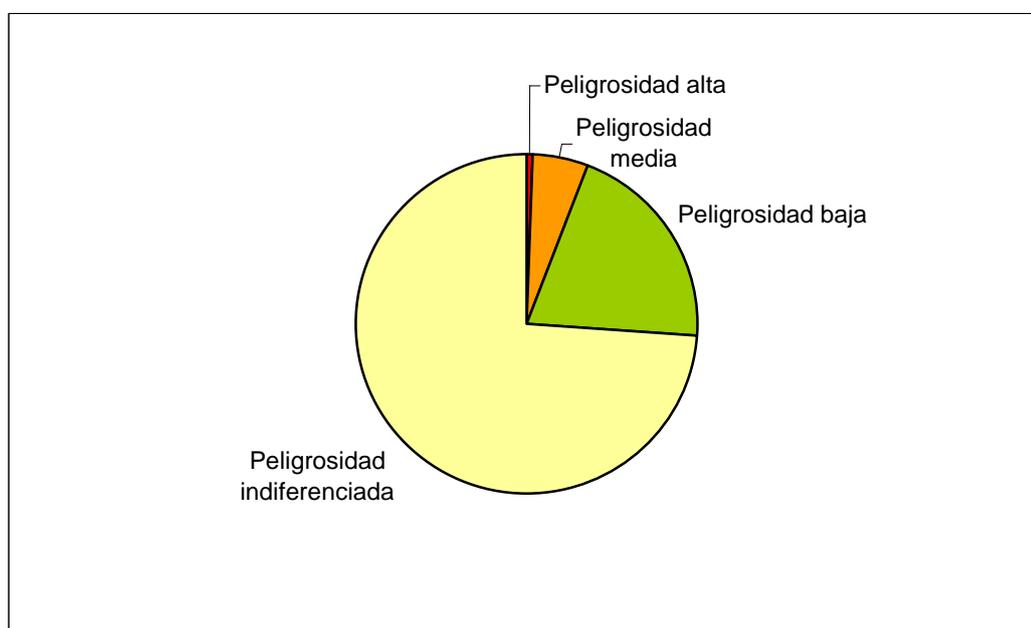


Figura 77. Porcentaje por áreas de los niveles de peligrosidad usados en la cartografía.

Esta cartografía de la peligrosidad torrencial se caracteriza por una gran diversidad en cuanto a la localización y extensión de los diferentes niveles de peligrosidad. Sin embargo, pueden extraerse una serie de conclusiones acerca de la distribución de la peligrosidad y, en particular, del nivel de peligrosidad intermedio, que es el que define la situación de las áreas más amenazadas por las inundaciones fuera de los canales:

- Las zonas más expuestas a la actividad torrencial son aquellas situadas inmediatamente por debajo de puntos de desencajamiento y puntos conflictivos de especial gravedad, especialmente entradas de drenaje transversal con escasa sección, las cuales pueden obturarse con facilidad durante una avenida por acumulación de sedimento y restos vegetales.

- La intervención humana aumenta en la mayor parte de los casos el impacto de las inundaciones torrenciales. El principal motivo es la ocupación de las áreas amenazadas por asentamientos e infraestructuras, lo que aumenta el grado de exposición. Por otra parte, las modificaciones llevadas a cabo en estas zonas dan lugar comúnmente a la creación de obstáculos y puntos de avulsión potencial, así como a la reducción de la sección de los canales y de los cauces ocupados durante avenidas.
- La ocupación de las zonas torrenciales altera las trayectorias de flujo que tienen lugar durante las avenidas. El caso más frecuente de este tipo de fenómeno tiene lugar en poblaciones atravesadas por canales torrenciales soterrados; el trazado de los antiguos cauce suele coincidir con calles que siguen la dirección de máxima pendiente de las laderas, de tal modo que durante inundaciones éstas funcionan como cauces que canalizan la mayor parte del caudal.

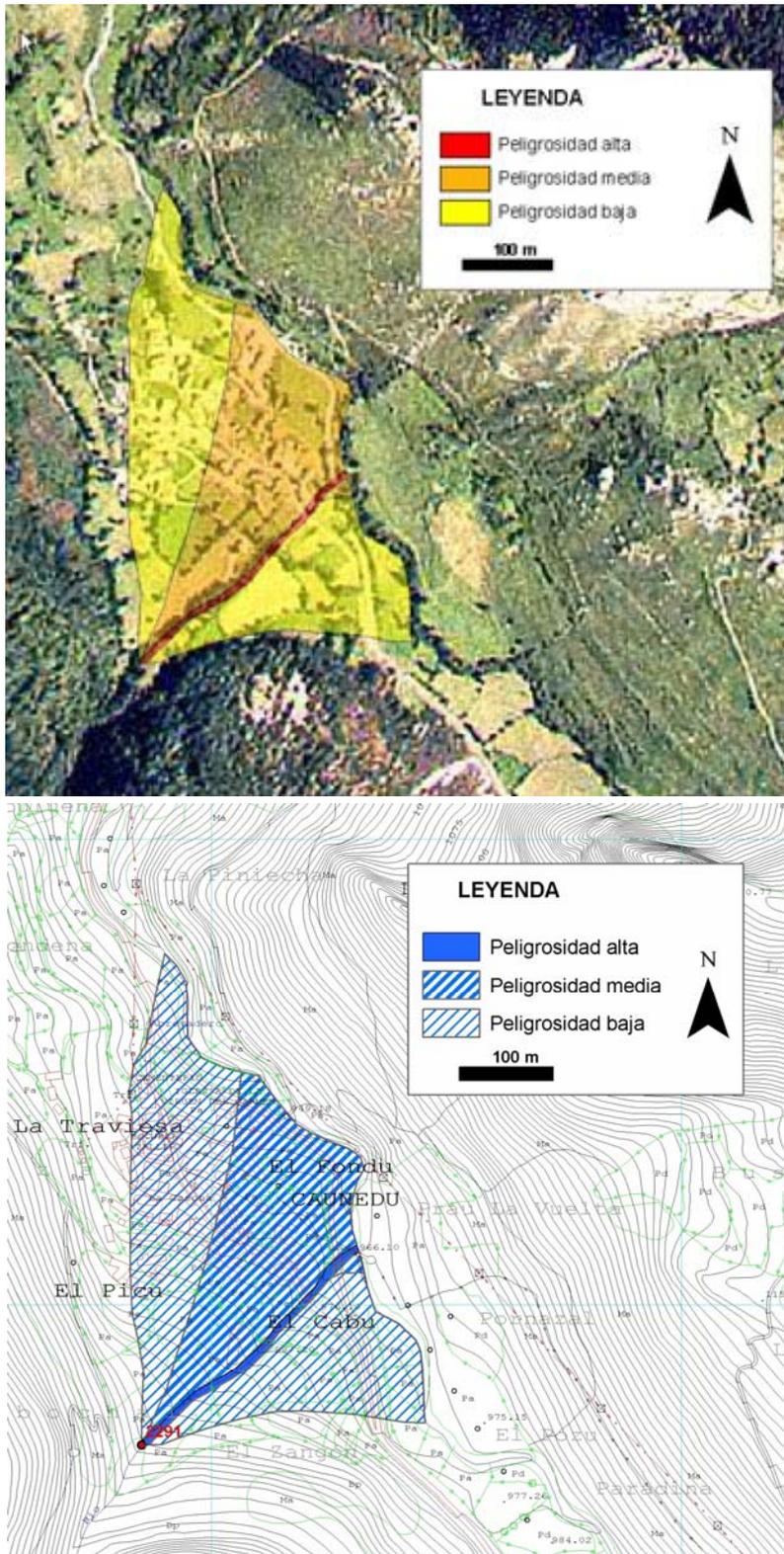


Figura 78. Zonificación de la peligrosidad en Caunedo, (Concejo de Somiedo). Arriba sobre fotografía aérea y abajo se muestra el aspecto de la zonificación en los mapas de peligrosidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcoverro, J., Corominas, J. & Gómez, M. (1999). The Barranco de Arás flood of 7 August 1996 (Bisecas, Central Pyrenees, Spain) *Engineering Geology*, 51: 237-255.
- Aulitzky, H. (1994). Hazard mapping and zoning in Austria – Methods and legal implications. *Mountain Research and Development*, 14(4): 307-313.
- Ayala-Carcedo, J. (2002). El sofisma de la imprevisibilidad de las inundaciones, el periodismo ambiental y la responsabilidad social de los expertos. Un análisis del caso español y sus alternativas. *Boletín de la AGE*, 33: 79-92.
- Blair, T.C. & Mcpherson, J.G. (1994). Alluvial fans processes and forms. In: *Geomorphology of Desert Environments* (Abrahams A.D. y Parsons A.J., eds.). Chapman and Hall: London, 354-402.
- Costa, J.E. (1988). Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. In: *Flood Geomorphology* (Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C., eds.). Wiley, Chichester, UK, 7: 113-122.
- Costa, J.E. & Schuster, R.L. (1988). The formation and failure of natural dams. *Geological Society of America Bulletin*, 100:1054-1068.
- De Scally, F.A. & Owens, I.F. (2004). Morphometric controls and geomorphic responses on fans in the southern Alps, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(3): 311-322.
- De Scally, F., Slaymaker, O. & Owens, I. (2001). Morphometric controls and basin response in the Cascade Mountains. *Geografiska Annaler Series A- Physical Geography*. 83A (3): 117-130.
- Gutiérrez, F., Gutiérrez, M. & Sancho, C. (1998). Geomorphological and sedimentological analysis of a catastrophic flash flood in the Arás drainage basin (Central Pyrenees, Spain). *Geomorphology*, 22: 265-283.

- Hungr, O., Morgan G.C. & Kellerhals, R. (1984): Quantitative-analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures. *Canadian Geotechnical Journal*, 21(4): 663-677.
- Jakob, M. & Jordan, P. (2001): Design flood estimates in mountain streams – the need for a geomorphic approach. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 28: 425-439.
- Kelman, I. & Spence, R. (2004): An overview of flood actions on buildings. *Engineering Geology*, 73: 297-309.
- Kelsch, M., Caporali, E. & Lanza, L.G. (1999): Hydrometeorology of flash floods. In: *Coping with flash floods* (E. Grunfest & J. Handmer, eds.). 37-48.
- Rico, M., Benito, G., Barnolas, A. (2001): Combined palaeoflood and rainfall-runoff assessment of mountain floods (Spanish Pyrenees). *Journal of Hydrology*, 245: 59-72.
- Van Henk, S. (1996): Debris-flow magnitude-frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe. *Geomorphology*, 15: 259-273.
- Whipple, K.X. (1993): Interpreting debris-flow hazard from study of fan morphology. In: Shen, H.W., Su, S.T. y Wen, F. (Ed.) *Hydraulic engineering*, 93 v. 2, pp. 1302-1307. ASCE
- Wohl, E. (2000): Mountain rivers. *Water Resources Monograph 14*. American Geophysical Union. Washington, DC. 320 pp.

**VI. PELIGROSIDAD:
OTROS RIESGOS, INESTABILIDAD DE LADERAS**

Asociadas a las precipitaciones de alta intensidad, además de diferentes tipos de inundaciones, se generan numerosos procesos de inestabilidad en las laderas. La relación entre precipitaciones e inestabilidades superficiales está ampliamente descrita en la literatura para todas las condiciones climáticas (Larsen, 1992; Pasuto et. al., 1998; Ayalew, 1999; Corominas et. al., 1999). En la región asturiana, la revisión de archivos de prensa con referencias a inestabilidades de ladera y su comparación con datos de precipitación (Domínguez et al 1999) ponen igualmente de manifiesto esta relación.

De forma más directa, en el año 2003 durante los meses de noviembre y diciembre se produjeron en Asturias numerosas inestabilidades de ladera tras precipitaciones intensas (Figura 79). De ellas la más grave fue la registrada en la localidad de Buscabrero en Salas, donde murieron dos personas.

Las precipitaciones de alta intensidad propician el desarrollo de inestabilidades superficiales de diferentes tipos (flujos, deslizamientos y movimientos mixtos), todos ellos de reducidas dimensiones y que afectan a los niveles menos profundos de las vertientes. Generalmente, el material que se moviliza es material suelto (suelo, formaciones superficiales o mantos de meteorización, etc.) y, en menor medida, niveles superiores de roca fresca, especialmente en algunas formaciones ricas en pizarra. El proceso de inestabilidad comienza con el desarrollo de una zona de fractura superior, que en general será más amplia y profunda en los deslizamientos que en los flujos, seguido de un transporte del material suelto hasta la zona de depósito.



Figura 79. Inestabilidades de ladera desarrolladas en diferentes zonas de Asturias durante el otoño e invierno de 2003. A) En Buscabreo (Concejo de Salas) el 16 de Noviembre B) En Serandías (Concejo de Boal) en la misma fecha y C) en Oyanco (Concejo e Aller) el 24 de diciembre.

En el análisis del riesgo asociado a estos procesos, un factor fundamental es su alta frecuencia, de tal forma que aunque cada proceso aislado no involucre un gran volumen de material, las pérdidas y el riesgo total asociados son muy elevados. Los deslizamientos superficiales constituyen los procesos de inestabilidad más frecuentes en todas las laderas, siendo por ello uno de los riesgos geológicos que mayores pérdidas económicas causan (González de Vallejo, 1988). En una región montañosa como Asturias, en relación con estas inestabilidades superficiales se registran todos los años numerosos daños en infraestructuras, con frecuentes cortes de vías de comunicación, deterioro de algunas edificaciones y, en algunos casos, pérdidas de vidas humanas.



Figura 80. Inestabilidad gravitacional en la Cuenca fluvial del río Trubia.

La recopilación en archivos de prensa de noticias sobre daños producidos por las inestabilidades de ladera para un periodo de tiempo de 16 años (1980-1996) arroja un total de 245 registros en Asturias. Sin duda el número de inestabilidades que tienen lugar es mucho mayor, pero en la prensa se citan casi exclusivamente aquellos eventos que han producido algún tipo de daño. Al igual que ocurre con los archivos históricos de inundaciones, cuyos datos en prensa suelen ser parciales, en el caso de las laderas tampoco se describe el tipo de proceso ni su ubicación exacta, sin embargo, las cifras que se manejan sí son un indicador de la alta frecuencia de las inestabilidades y de los problemas que generan. Además, hay que destacar que en estas noticias se suele citar el agente desencadenante, en la mayoría de los casos representado por precipitaciones intensas.

De acuerdo con esta realidad, en un estudio reciente sobre los Riesgos Naturales en Asturias (Marquínez et al 2003) se presentó un modelo de susceptibilidad frente a las inestabilidades superficiales. En este modelo, con resolución de celda de 50 metros, se combinaron diferentes criterios geológicos, geomorfológicos y de relieve, obteniendo una clasificación del territorio en 4 clases de susceptibilidad relativa. El modelo fue testado con datos de inestabilidades provenientes de trabajos de campo previos y, con posterioridad a su publicación. Durante los meses de noviembre y diciembre de 2003 se realizaron visitas a algunas de las localidades afectadas por inestabilidades superficiales a las que ya se ha hecho referencia. En ambas comprobaciones, el grado de ajuste del modelo es elevado.

En el momento actual está disponible un Modelo Digital del Elevaciones (MDE) para toda Asturias con celda de 10 metros. Este MDE ha sido construido a partir de la topografía 1:5.000 del Principado y se ha cuantificado el error en la coordenada Z utilizando como puntos de control un 10% de las cotas de la topografía. En dos áreas, el MDE se ha contrastado con un modelo de alta precisión obtenido mediante un sistema LIDAR (Light Detecting And Ranking)

y con puntos acotados medidos en campo con sistemas GPS de alta precisión. Los valores de error cuadrático medio, varían según la metodología de comprobación y según las áreas, pero oscilan entre los 5 y 10 metros. Esta precisión puede ser considerada muy elevada para un MDE de escala regional.

Con el fin de mejorar el mapa de susceptibilidad por inestabilidades superficiales, éste se ha elaborado con resolución de celda de 10 metros. La metodología es la descrita en la publicación ya citada, pero utilizando una mayor precisión tanto en la rasterización de la información temática como en los datos de relieve derivados del MDE. En el presente capítulo se describe someramente esta metodología, que puede ser consultada en Marquínez et al (op. cita), y se dan algunos datos sobre la distribución de áreas más o menos inestables en las diferentes cuencas y subcuencas de drenaje diferenciadas en Asturias.

El modelo de susceptibilidad por inestabilidades superficiales se ha elaborado a partir de la cartografía ponderada de factores condicionantes. A escala regional y para unas condiciones climáticas dadas, los principales factores condicionantes de inestabilidad son tres:

- Litología del sustrato
- Presencia de un recubrimiento o formación superficial sobre este sustrato
- El relieve, especialmente la pendiente, de la ladera.

A partir de la cartografía de estos factores y ponderando correctamente su influencia en el proceso, es posible establecer un modelo de susceptibilidad homogéneo para todo el territorio.

Toda la información temática (geológica y geomorfológica) así como la de relieve ha sido analizada a partir de documentos cartográficos en formato digital y gestionada desde un Sistema de Información Geográfica. La información geológica y geomorfológica utilizada procede de la base cartográfica 1:25.000 elaborada para la Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias (CTAPA) (Marquínez et. al., 1998). Con el fin de facilitar las operaciones de análisis, superposición de varias capas y la combinación con el relieve, obtenido a partir de MDE, toda la información se pasó a formato matricial con tamaño de celda de 10 m. Así, en el modelo final, la resolución viene dada por la escala de los mapas originales (1:25.000) y por el tamaño de la celda (10 metros) utilizada en el análisis matricial.

2.1. GEOLOGÍA DEL SUSTRATO

El tipo de rocas que constituyen el sustrato de una región es un factor determinante de primer orden en la distribución de inestabilidades superficiales. Esencialmente, a igualdad de otros factores, la litología del sustrato condiciona el espesor de material alterado y suelto que recubre el sustrato, así como otras características de este material (contenido en minerales arcillosos o textura) que condicionan su comportamiento mecánico. También hay que tener en cuenta que algunos tipos de rocas, incluso en estado fresco o poco alterado, pueden verse afectadas por procesos de inestabilidad del tipo que nos ocupa.

Todas las unidades que aparecen en la cartografía geológica de la región se han agrupado en 10 clases litológicas, según favorezcan más o menos la generación de inestabilidades. Los criterios utilizados para ello son los siguientes:

- Presencia o ausencia de materiales no consolidados.
- Presencia o ausencia de limos, arcillas o pizarras.
- Presencia o ausencia de alternancias litológicas.
- Edad de la unidad (paleozoica o post-paleozoica).
- Pendiente media de la unidad para toda Asturias.
- Tipos litológicos dominantes.
- Conocimiento regional y de campo.
- Valores de resistencia a la rotura disponibles para algunas formaciones y tipos.
- Litológicos (Gutiérrez Claverol y Torres Alonso, 1995)

A continuación, a cada una de estas clases se les ha asignado una puntuación, con valores de 1 a 10, correspondiendo los valores más altos a aquellas formaciones que favorezcan la presencia de inestabilidades.

2.2. PRESENCIA DE FORMACIONES SUPERFICIALES

La presencia de un espesor importante de material suelto recubriendo las rocas del sustrato ha sido considerada como un factor condicionante de gran importancia en el desarrollo de inestabilidades. Por este motivo, a la puntuación asignada a cada formación del sustrato se le añade otro valor si presenta una formación superficial que la recubre. Dicho valor varía según la litología dominante de este recubrimiento.

La cartografía de formaciones superficiales se obtuvo de la CTAPA y corresponde a depósitos de diferente génesis (de laderas, fluviales, glaciares, etc.) que han sido agrupados siguiendo criterios litológicos y texturales en:

- Formaciones clásticas con abundante contenido en matriz arcillosa calcáreas, síliceas o mixtas. Ponderadas con un valor de 5.
- Formaciones clásticas con escasa matriz calcáreas, síliceas o mixtas. Ponderadas con un valor de 3.

Con la puntuación asignada a estas formaciones superficiales se construyó un modelo matricial que posteriormente se combinó con el de litología del sustrato, de modo que sumando ambos valores en cada una de las celdas resultantes se obtendrán valores de susceptibilidad relativa entre 1 y 15.

2.3. PRESENCIA DE ANTIGUOS MOVIMIENTOS EN MASA

Las evidencias de campo y numerosos reportes de inestabilidad ponen de manifiesto que la presencia de determinadas unidades geomorfológicas también favorece el desarrollo de inestabilidades superficiales en las laderas. Este es el caso de los depósitos relacionados con antiguos movimientos en masa (deslizamientos y flujos) de grandes dimensiones. Las masas de materiales removilizadas y depositadas en relación con estos movimientos suponen zonas en las vertientes con alto espesor de material suelto y morfología irregular, con

escalones y tramos de fuerte pendiente, en los que tienden a producirse procesos de inestabilidad menores.

Para valorar la incidencia de estos elementos se dispuso de la cartografía a escala 1:25.000 de los movimientos en masa fósiles en Asturias. Esta información se convirtió a formato matricial, asignando un valor de 2 a las celdas que se correspondan con movimientos en masa y cero en el resto del territorio. Este modelo se sumó a los valores anteriores, de modo que el modelo matricial de susceptibilidad relativa toma ahora valores entre 1 y 17.

2.4. FACTORES DEL RELIEVE: LA PENDIENTE

El principal factor del relieve condicionante del desarrollo de inestabilidades superficiales es la pendiente. Por lo tanto, para una clase de rocas y con un espesor y tipo determinado de recubrimientos, las áreas de más fuerte pendiente serán las que registren mayor frecuencia de inestabilidades.

Para cuantificar el factor pendiente se construyó el Modelo Digital de Pendientes (MDP) a partir del Modelo Digital de Elevaciones con cuadrícula de 10 metros. Este MDP, con una distribución continua de la variable, se agrupó en 5 intervalos de pendiente (0° a 5° , 5° a 15° , 15° a 25° , 25° a 30° y más de 30°), asignando a cada uno un factor de ponderación (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 respectivamente).

El modelo matricial resultante de la combinación de los factores geológicos y geomorfológicos ya descrito se multiplicó por este factor resultante de la pendiente, dando un nuevo modelo de susceptibilidad relativa que toma valores entre 0.5 y 42.5.

2.5. ÁREAS DE ROQUEDOS, CANCHALES Y DEPÓSITOS DE ÁREAS LLANAS

Las áreas de roquedo, los canchales y las áreas con depósitos propios de áreas llanas (depósitos aluviales, de relleno de depresión, dunares, estuarinos y de playa) son elementos no susceptibles al desarrollo de inestabilidades, bien por la ausencia de recubrimientos en el caso de los roquedos y canchales o por la inactividad frente a este proceso que presentan las áreas llanas.

Estas unidades han sido extraídas de la CTAPA y convertidas a formato matricial, asignando valor cero a las celdas pertenecientes a alguna de ellas. Estos valores se integrarán con los modelos relativos anteriores para dar lugar al modelo de susceptibilidad a los deslizamientos superficiales definitivo.

2.6. COMBINACIÓN DE FACTORES

Siguiendo la metodología descrita hasta ahora y esquematizada en la Figura 81, se obtuvo un modelo matricial de susceptibilidad relativa al desarrollo de inestabilidades superficiales.

En este modelo la mayoría de celdas toman valores de 0.5 a 42.5, siendo los valores más altos los de las áreas potencialmente más inestables. Estos valores son el resultado de sumar los obtenidos en función de la litología del sustrato, de la presencia de formaciones superficiales y de la presencia de antiguos deslizamientos, multiplicando este resultado por un factor derivado de la pendiente. Además, existen celdas con valor de susceptibilidad cero que corresponden a los roquedos, los canchales y los depósitos de áreas llanas.

Para construir un modelo final de susceptibilidad, todas las celdas con valor distinto de cero se agruparon en cuatro clases equiareales y denominadas como de susceptibilidad muy baja, baja, media y alta. Estas cuatro clases son las que aparecen representadas en el mapa final, además de las zonas excluidas del análisis: los depósitos de áreas llanas y los roquedos y canchales. El modelo resultante es el presentado en el Mapa de Peligrosidad por Inestabilidades Superficiales adjunto a esta memoria, a escala 1:100.000.

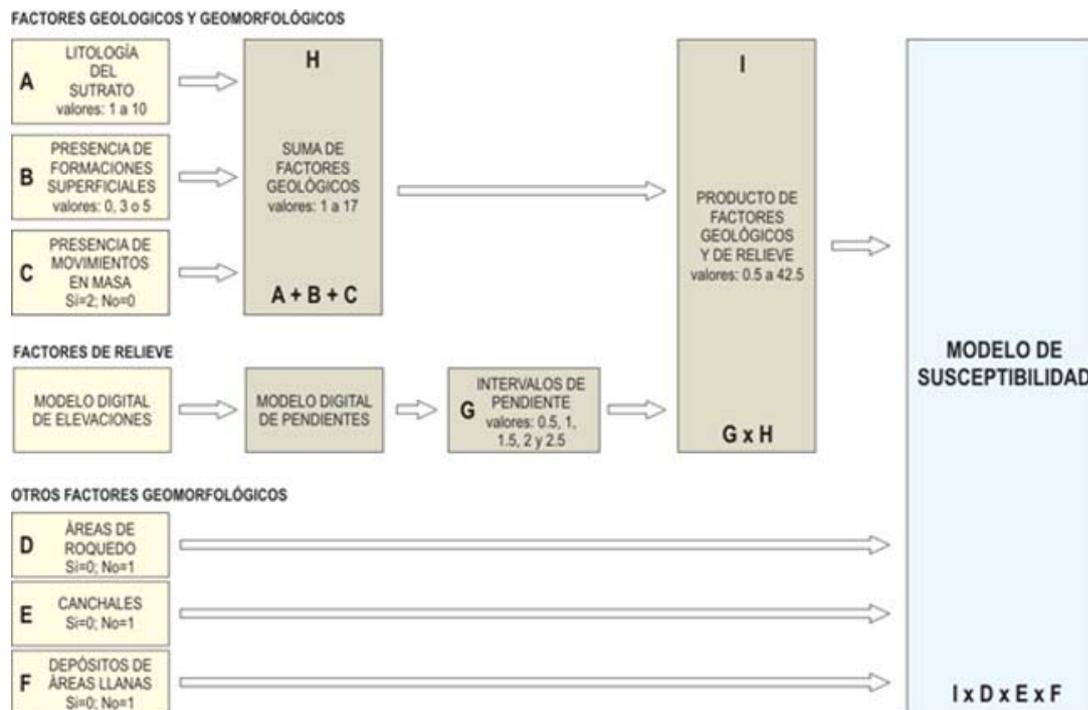


Figura 81. Esquema de trabajo seguido en la elaboración del Modelo de susceptibilidad. En los recuadros amarillos aparecen las capas primarias del análisis. H, G e I son capas intermedias que combinan factores geológicos, geomorfológicos y de relieve. El modelo final combina estas capas intermedias con algunas unidades que se excluyen de las clases de susceptibilidad.

De acuerdo con los criterios y metodología de trabajo, el modelo construido tiene una resolución de 10 metros de celda y debe de ser tomado como un indicativo de aquellas áreas en las que es más probable que se produzca una inestabilidad superficial en las laderas. Algunos datos disponibles permiten asignar una fiabilidad alta al modelo construido, si bien, para su aplicación en el análisis de riesgo, serían deseables algunas mejoras:

- En el modelo se definen aquellas zonas en las que es más probable que se inicie el proceso. Sin embargo, no se modeliza el alcance potencial del material que se moviliza. Sin duda, el determinar la trayectoria más probable del material y su alcance es un factor fundamental en el análisis del riesgo, pero su determinación plantea diversos problemas. Fundamentalmente, las posibles trayectorias serán muy variables para los distintos procesos de inestabilidad y, además, en su determinación precisa influyen multitud de factores locales (microrrelieve, construcciones, etc.) difíciles de modelizar a escala regional.
- La definición más precisa de la peligrosidad se mejoraría con datos climáticos de detalle que permitan combinar la distribución espacial de máximos de precipitación (Lastra et al, 2004). Consideramos que en el momento actual los datos de precipitación disponibles tienen una resolución inferior a la del resto de capas temáticas, lo que desaconseja su inclusión en el análisis.

3. EL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD

En el modelo final de susceptibilidad para inestabilidades superficiales elaborado para toda la región asturiana, las áreas con diferente susceptibilidad siguen una distribución que se adapta a las líneas generales de la geología de la región y al relieve. Las zonas con valor de susceptibilidad más alto se concentran principalmente en dos regiones, donde afloran los materiales de la cobertura mesozoico-terciaria y en la cuenca carbonífera central.

Si se analizan los datos por cuencas de drenaje, utilizando unidades de análisis comparables a las consideradas en inundaciones, la distribución de áreas con mayor o menor susceptibilidad responde a la geología del sustrato y al relieve característico de cada cuenca. En el histograma de la Figura 82 se da el porcentaje de áreas pertenecientes a cada clase de peligrosidad para cada cuenca.

Los valores de peligrosidad más bajos se registran en todas las cuencas del occidente de Asturias: cuencas del Narcea, del Navia o del Esva y especialmente, en las cuencas de la costa occidental: en el Eo, cuenca del Porcia y cauces costeros próximos. En estas zonas los valores de pendiente son bajos, especialmente en las rasas costeras, y el sustrato geológico, en general, no favorece las inestabilidades. En el oriente, los valores de susceptibilidad más bajos se asocian a la costa oriental, igualmente en relación con la presencia de áreas llanas y, en este caso, de rocas calcáreas, poco afectadas por los procesos aquí considerados. En la costa, los valores más altos de susceptibilidad se encuentran en el tramo centro-oriental, en relación con los amplios afloramientos de materiales mesozoicos en la zona.

En las cuencas interiores, los valores más altos de susceptibilidad se encuentran en las cuencas del Medio Nalón, Trubia y Caudal, en las que el porcentaje de territorio con susceptibilidad baja y muy baja no supera el 25%. Aunque con valores ligeramente más altos, la frecuencia de áreas ‘estables’ también es baja en las cuencas del Alto Nalón, Piloña y Alto Sella. Cabe destacar que el carácter montañoso de Asturias hace que, en prácticamente todo el

territorio, halla laderas susceptibles de sufrir procesos de inestabilidad superficial. Sin embargo, a partir de un número relativamente de criterios geológicos, es posible realizar un modelo que refleja varias clases de riesgo relativo.

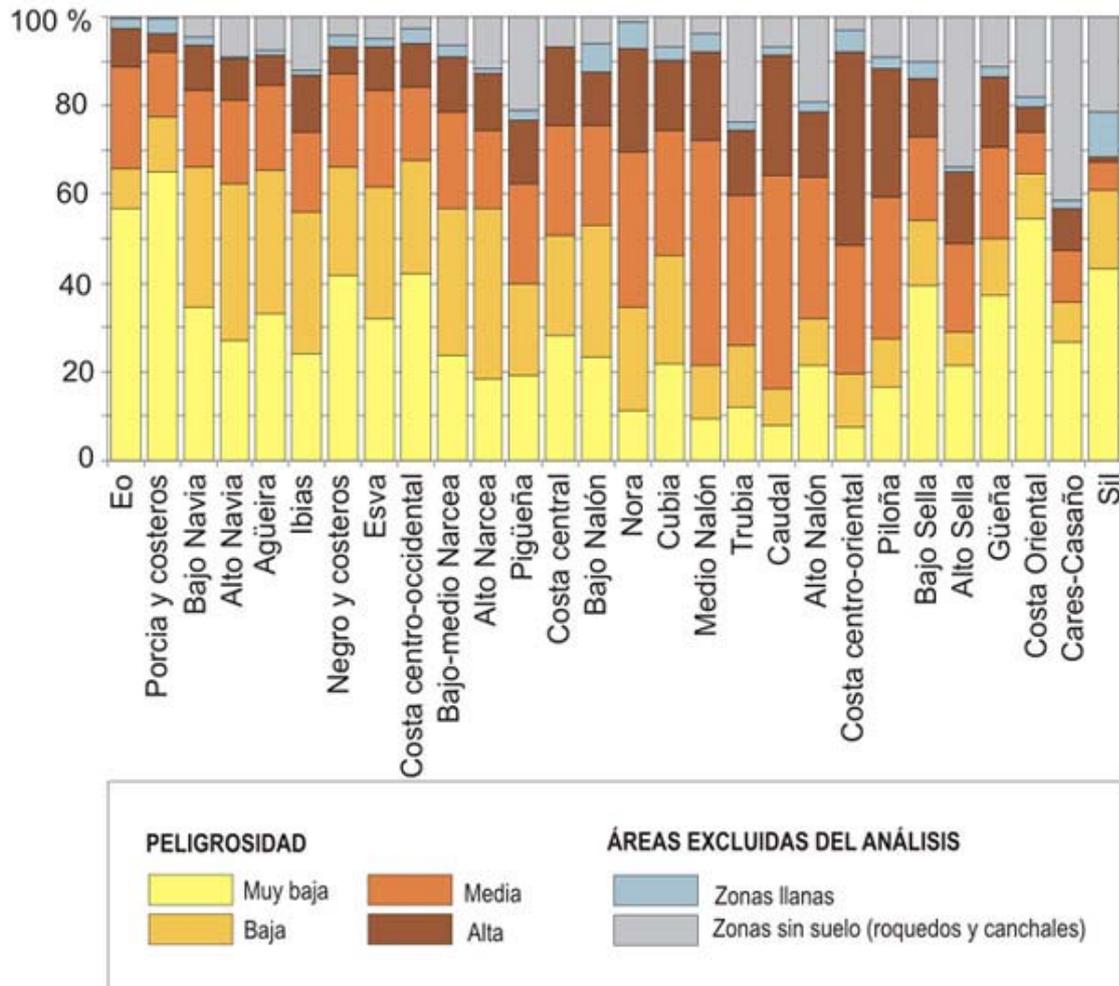


Figura 82. Frecuencia relativa de las áreas pertenecientes a las clases de susceptibilidad muy baja, baja, media y alta para las diferentes cuencas de drenaje. Para cada cuenca se da el porcentaje de su extensión total incluido en cada clase, así como los porcentajes correspondientes a depósitos de áreas llanas y a roquedos y canchales.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Ayalew, L (1999). The effect of seasonal rainfall on landslides in the highlands of Ethiopia. *Bull. of Engineering Geology and the Environment*, 58 (1): 9-19.
- Corominas J, Moya J (1999). Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, 30 (1-2): 79-93.
- Domínguez M. J., Jiménez M., Rodríguez A. (1999). Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events". *Geomorphology*, 30, 125-132.
- González de Vallejo, L. (1988). La importancia socioeconómica de los riesgos geológicos en España. En I.G.M.E. (ed.), *Riesgos Geológicos*, Madrid, 21-34.
- Larsen MC, Torres-Sánchez AJ (1992). Landslides triggered by the rainfall associated with Hurricane Hugo, eastern Puerto Rico, September 1989. *Caribbean Journal of Science*, 28 (3-4): 113-120.
- Lastra, J.; Marquínez, J. y Menéndez Duarte, R. (2004). Utilización de las precipitaciones en la modelización de la peligrosidad por inestabilidades superficiales. En: *Riesgos naturales y antrópicos en Geomorfología* (G. Benito y A. Díez Herrero, eds.) (Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología), Vol. II, 335-344. SEG y CSIC, Madrid.
- Marquínez J.; Alvarez Garcia, M.A.; Fernández Prieto, J.A. eds. (1998). *Memoria de la Cartografía Temática ambiental del Principado de Asturias*. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias.
- Marquínez, J.; Menéndez Duarte, R.; Fernández Menéndez, S.; Fernández Iglesias, L.; Jiménez, B.; Wozniak, E.; Lastra, J.; Roces, J. y Adrados, L. (2003). *Riesgos Naturales en Asturias*. KRK Ediciones, 133 pp.
- Pasuto A, Silvano S (1998). Rainfall as a trigger of shallow mass movements. A case study in the Dolomites, Italy. *Environmental Geology*, 35 (2-3): 184-189.
- Schmidt J., Dikau R. (2004). Modeling historical climate variability and slope stability. *Geomorphology* (in press).
- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Commission on landslides on the IAEG, UNESCO, *Natural Hazards*, no. 3.

VII. ELEMENTOS EN RIESGO: VULNERABILIDAD

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. LA VULNERABILIDAD

1.1.1. LA DIRECTRIZ BÁSICA

Al igual que en el resto de los trabajos que constituyen este estudio, la primera referencia obligada es el contenido de la *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil Ante el Riesgo de Inundaciones*. Tal como señalan algunos autores (*Vallejo y Camarillo, 2000*) los objetivos de la directriz son ambiciosos, lo que se manifiesta claramente en la detallada propuesta de zonificación del riesgo por avenidas y en los contenidos complementarios. Su contenido, del que en este apartado se extractan los puntos fundamentales, resulta determinante para determinar el alcance del presente estudio.

Conforme a dicho documento, el objetivo del presente trabajo sería la clasificación de las zonas inundables localizadas en el territorio asturiano en función del riesgo y la estimación, en la medida de lo posible, de las afecciones y daños que puedan producirse por la ocurrencia de las inundaciones. La información resultante tendrá por objeto la elaboración de información útil para la redacción del Plan del Principado de Asturias ante el riesgo de inundaciones.

Entre las funciones que la citada directriz asigna a los Planes de las Comunidades Autónomas, y que pueden orientar esta parte del trabajo, cabe destacar las siguientes:

- Precisar la zonificación del territorio en función del riesgo de inundaciones.
- Estimar, en la medida de lo posible, las afecciones y daños que puedan producirse por la ocurrencia de las inundaciones.

- Localizar la infraestructura física de previsible utilización en las operaciones de emergencia

En cuanto a la vulnerabilidad, la directriz la define como el “*grado de probabilidad de pérdida de un elemento en riesgo dado, expresado en una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total), que resulta de una inundación de características determinadas*”, entendiéndose por elementos en riesgo la “*población, edificaciones, obras de ingeniería civil, actividades económicas, servicios públicos, elementos medio ambientales y otros usos del territorio que se encuentren en peligro en un área determinada*”.

El análisis de la vulnerabilidad deberá tener en cuenta la valoración de daños potenciales por inundación, y por los fenómenos asociados a la misma, sobre los elementos anteriormente enumerados. Por tanto, se recomienda que se consideren en la valoración de daños la ocurrencia de víctimas, la interrupción de servicios imprescindibles para la comunidad y las de aquellos que puedan dificultar las acciones frente a una emergencia. Por último, se señala que, siempre que sea posible, en la estimación de la vulnerabilidad deben considerarse parámetros hidráulicos como calado, velocidad, caudal sólido y duración.

1.1.2. EL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD

La Directriz Básica trata los aspectos fundamentales para el análisis del riesgo por inundaciones, sin embargo, en la aplicación práctica de la misma suelen aparecer variantes en el tratamiento de las diferentes variables utilizadas para su estimación.

Así, es habitual que la definición de vulnerabilidad de los trabajos científicos y técnicos varíe notablemente en función de los objetivos perseguidos. Podemos encontrar varias definiciones del término que van desde las que priman las características pasivas de un sistema ante una amenaza, donde el término se aproxima al concepto de *resiliencia* aplicado a los ecosistemas, hasta las que destacan la capacidad de los sistemas de proporcionar una adecuada respuesta a las situaciones de crisis.

Cómo se define la vulnerabilidad resulta importante incluso para determinar qué tipo de enfoque tendrá el diseño posterior de las actuaciones dirigidas a la reducción de la misma. Así, por ejemplo, para *Nakamura et al* (2001) la vulnerabilidad es la relación de tensión que se produce entre un peligro (la inundación) y el sujeto que lo sufre (el medio ambiente y los asentamientos humanos), por lo que el análisis desde esta perspectiva será útil sobre todo para proyectos que buscan tanto reducir la peligrosidad como mejorar la capacidad de respuesta ante un episodio catastrófico.

Por lo tanto, para este autor, la vulnerabilidad sería el resultado de la interacción entre una inundación y algunas de las características de los usos del

suelo y de la población afectadas. Pero además considera que en el análisis de la vulnerabilidad es necesario aplicar y considerar una perspectiva de cuenca que debe extenderse a la propia gestión integrada. Esta integración se refiere a múltiples aspectos entre los que, por supuesto, se encuentra la relación entre los usos del suelo y de los recursos hídricos. En otras palabras, la gestión de las inundaciones no debería ocuparse, únicamente, de los usos que albergan o pueden albergar las llanuras aluviales. Sin embargo, aun considerando muy acertada esta visión del problema, parece claro que la misma supera ampliamente los objetivos perseguidos por los planes de emergencias ante el riesgo de inundaciones.

En el caso de que la vulnerabilidad sea considerada como los posibles efectos de un episodio de inundación sobre las características de los elementos afectados deberemos conocer, por un lado, qué características de la inundación resultan una amenaza severa y, por otro, cual es la capacidad de adaptación del sistema o de una parte del mismo, ya sea la sociedad, el medioambiente o la economía.

Pero aquí también las propuestas metodológicas son diversas y abarcan un amplio repertorio que va desde las más simples, que reducen la vulnerabilidad al análisis de las potenciales pérdidas económicas producidas por una de las magnitudes de la avenida, hasta las más complejas que consideran tal número de variables que resulta prácticamente imposible llevarlas a práctica salvo en ámbitos muy reducidos¹.

En sentido estricto el concepto de vulnerabilidad hace referencia a la capacidad de un elemento, o de un sistema, para resistir o absorber el impacto generado por un suceso que caracteriza a una amenaza (Cardona, 2001). En otras palabras, la vulnerabilidad de un elemento es la susceptibilidad que tiene a ser afectado o a sufrir una pérdida, es decir, su fragilidad ante un evento extremo.

Se trata por tanto de un concepto un tanto diferente del de daño aunque ambos se encuentran estrechamente relacionados. Así, mientras que con el análisis de daños se pretende estimar las pérdidas de acuerdo con el grado de amenaza considerado, el objetivo del análisis de la vulnerabilidad es el estudio de la capacidad de resistencia o absorción del sistema, incluyendo, por tanto, los daños.

En resumen, tal y como señala Cardona (2001) “la evaluación de la vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular, contribuyendo al conocimiento del riesgo

¹ Como por ejemplo la propuesta realizada por Penning-Rowsell, en *Green et al 1994*, en la que para analizar la vulnerabilidad del grupo social desarrolla una ecuación con los siguientes términos: Variables socioeconómicas (6); variables referidas a las características de las propiedades e infraestructuras (5); Variables referidas a las características de la inundación (8); Variables del sistema de alerta (3); Variables del sistema de respuesta (3). En total 25 variables. (Nakamura, 2001).

a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. Los elementos expuestos, o en riesgo, son el contexto social y material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la manifestación de un suceso, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre, tales como edificios, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza”.

1.1.3. TIPOS DE VULNERABILIDAD

En términos generales, y en relación con su evaluación, se ha diferenciado entre vulnerabilidad de carácter técnico y vulnerabilidad de carácter social. La primera es factible de cuantificar en términos físicos y funcionales como, por ejemplo, en daños físicos potenciales o en posibles perjuicios por la interrupción de la operación de un servicio. La segunda, usualmente se puede valorar en términos de la falta de resiliencia, o capacidad de absorber el impacto. Su estimación puede ser cualitativa o relativa, debido a que está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, etc., que a menudo se pueden evaluar mediante índices o indicadores.

Es importante mencionar que las evaluaciones de carácter técnico suelen ser vistas como ingenuas desde la perspectiva social, debido al enfoque científico reduccionista que se le ha dado tradicionalmente a este tipo de estimaciones. Sin embargo, dichas metodologías en muchos casos han demostrado su utilidad práctica, al menos en casos particulares. Tal y como señalan algunos autores, este tipo de evaluaciones deben ser realizadas por entidades o profesionales de diversas disciplinas. Estudios acerca de la vulnerabilidad física y funcional, por ejemplo, deben ser realizados por ingenieros, arquitectos y, en general, profesionales de la planificación, y evaluaciones de la vulnerabilidad social deben ser desarrolladas en forma multidisciplinar por parte de economistas, sociólogos, médicos, personal de protección civil y planificadores, entre otros.

En consecuencia, un análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. La evaluación de la vulnerabilidad implica primero la identificación de todos los elementos que podrían estar en riesgo de una amenaza particular. Los elementos bajo riesgo son el contexto social y material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza.

El conocimiento local puede usarse para completar el inventario y los datos de los censos para enumerar los elementos en riesgo. Las funciones en forma de

curvas de vulnerabilidad o patrones de probabilidad de daño se pueden obtener para algunos elementos en riesgo (edificios, personas) basado en otras experiencias del pasado.

Otro elemento a considerar es la doble vertiente, humana y económica, de la vulnerabilidad (Ayala-Carcedo, 2002b) y la relación de cada una de ellas con la magnitud de determinados factores de la avenida. Así, la *vulnerabilidad humana* está relacionada con la velocidad de la corriente y su calado. La capacidad de arrastre de los cuerpos una vez perdido el equilibrio es mucho mayor de lo que parece a simple vista dada la poca densidad del cuerpo humano. Además, la vulnerabilidad humana depende en buena medida de la capacidad de dar alertas tempranas y guarda una estrecha relación con la capacidad de resistencia de la estructura en casos como la rotura de puentes, las viviendas o edificaciones de una sola planta o en las afecciones a campings, caravanas o vehículos.

Por lo que se refiere a la *vulnerabilidad económica*, deben diferenciarse las condiciones de la *vulnerabilidad estructural* de los meros daños a continente y contenido, *vulnerabilidad no estructural*.

La *vulnerabilidad estructural* se relaciona, sobre todo, con la naturaleza de los materiales de construcción. Por ejemplo, las construcciones de adobe pueden generar grandes catástrofes al ser muy frágiles ante el agua, tanto más cuanto mayor sea la duración de la inundación. Tiendas de campaña, vehículos² y caravanas son los elementos más frágiles seguidos de las construcciones de madera. Por el contrario, parece que las viejas casas de piedra aguantan bien a nivel estructural.

Un dato interesante, de cara al cálculo de vulnerabilidad, es el que aporta Ayala-Carcedo (2002b), citando un documento de la *American Society of Civil Engineers* (ASCE), situando el fallo de las estructuras en calados superiores a los 3.6 metros o cuando el producto de la velocidad media por el calado sea mayor a 6. Sin embargo, como señala el mismo autor, este tipo de vulnerabilidad está relacionada con la carga sólida que arrastra la avenida, siendo esta mayor en las cuencas pequeñas de montaña.

Por lo que se refiere a la *vulnerabilidad no estructural* de las edificaciones debe distinguirse entre la vulnerabilidad del continente y del contenido. La primera se refiere a la destrucción de elementos estructurales incluidos pinturas, revestimientos, enlucidos, instalaciones eléctricas, tuberías, etc. La vulnerabilidad del contenido está totalmente ligada a la entrada de agua, al calado de la misma y a su carga sólida. Para su cálculo se recurre a funciones de Vulnerabilidad que son propias de cada zona y entorno económico. En el cálculo

² Los vehículos, en cuanto el calado de la inundación supera el suelo del habitáculo, entran en flotación y es arrastrado por la corriente (AYALA-CARCEDO, 2002b).

de la vulnerabilidad económica, la parte correspondiente al contenido crece a medida que el PIB por habitante es mayor.

Un indicador de la vulnerabilidad económica la encontramos en las primas de seguros. En España se ha establecido una tarifa de recargo, sobre las pólizas de seguro ordinario, en favor del Consorcio de Compensación³, en función de distintas situaciones que califica de riesgos. Así se establecen tasas de primas diferentes para:

- Viviendas y comunidades de propietarios de viviendas: 0,09 ‰
- Oficinas: 0,14 ‰
- Comercios (incluidos centros comerciales), almacenes y resto de riesgos sencillos⁴: 0,18 por mil
- Riesgos industriales⁵: 0,25 por mil
- Vehículos automóviles:
 - Turismos y vehículos comerciales hasta 3.500 kg: 5,41 €
 - Camiones: 21,04 €
 - Vehículos industriales: 17,43 €
 - Tractores y maquinaria agrícola y forestal: 12,02 €
 - Autocares, ómnibus y trolebuses: 31,85 €
 - Remolques y semirremolques: 10,22 €
 - Ciclomotores (hasta 75 c.c.), triciclos, motocarros y bicicletas con motor: 0,72 €
 - Motocicletas (más de 75 c.c.): 2,70 €
- Obras civiles:
 - Autopistas, autovías, carreteras, vías férreas y conducciones: 0,34 por mil
 - Túneles: 1,50 por mil
 - Puentes: 1,23 por mil

³ Resolución 22 julio de 1996, Dirección General de Seguros, por la que se aprueban los recargos en favor del Consorcio de Compensación de Seguros para el ejercicio de sus funciones en materia de seguro de riesgos extraordinarios, a satisfacer obligatoriamente por los asegurados, la cláusula de cobertura a insertar en las pólizas de seguro ordinario y la información a facilitar por las entidades aseguradoras relativa a las pólizas incluidas en el régimen de cobertura de los riesgos extraordinarios (BOE núm. 185, de 1 de agosto de 1996). www.conorseguros.es. Fecha de consulta: 27-12-2004.

⁴ La citada resolución define *riesgos sencillos* como: Viviendas, oficinas, comercios, almacenes y otros establecimientos, siempre que en los mismos no se desarrolle una actividad industrial (ya sea proceso o manipulación).

⁵ *Riesgos industriales*: Fábricas, talleres, almacenes y otros establecimientos donde se realice una actividad industrial, ya sea proceso (actividad por la que una materia es sometida a distintas operaciones, experimentando una transformación de su composición química inicial y de alguna de sus características físicas) o manipulación (actividad por la que una materia es sometida a distintas operaciones, experimentando una transformación de alguna de sus características físicas pero no de su composición química inicial, que permanece constante).

Presas:	0,91 por mil
Puertos deportivos:	0,96 por mil
Resto de puertos:	1,95 por mil
Extracciones de aguas subterráneas:	0,96 por mil

A pesar del carácter indicativo de estas tasas de prima, no debe olvidarse, tal y como señala Ayala-Carcedo (2002b), que en su cálculo no se tiene en cuenta la exposición al riesgo⁶, que además estas tasas se establecen atendiendo a los principios de compensación y de solidaridad que presiden el sistema español y que pretende la cobertura del conjunto de “riesgos extraordinarios⁷” y no sólo de las inundaciones.

Como más adelante veremos, una clasificación habitual, cuando se consideran los efectos producidos por una inundación, distingue entre:

- *Daños tangibles*: fundamentalmente económicos, valoración de la afección a bienes o servicios objeto habitual de transacciones comerciales. Estos, a su vez, se subdividen en:
 - Directos*: originados por el impacto directo del fenómeno natural, por lo que resultan en una destrucción o daño físico de elementos.
 - Indirectos*: consecuencia del daño o destrucción directa producida por la inundación. Coste de volver a la situación de normalidad anterior al evento.
- *Daños intangibles*: daños o las pérdidas producidas sobre elementos patrimoniales (patrimonio natural, cultural, artístico, religioso, histórico, etc.) y la pérdida de vidas humanas, incluso efectos traumáticos sobre la población (depresiones, estrés, incremento de la inseguridad).

En otra ocasiones se aplican otros criterios complementarios que dan lugar a diferentes clasificaciones como las que distinguen entre daños o pérdidas *potenciales* (el impacto máximo que produciría una inundación si no se toma ninguna acción preventiva) y *reales* (estimación del impacto si el sistema de

⁶ El autor señala que “para que fueran un índice más fiable de vulnerabilidad, las primas de comercios deberían estar aumentadas en torno al doble (plantas bajas con fuertes contenidos), mientras que las de las viviendas deberían estar algo disminuidas; se trata en todo caso de cifras medias y por ello, al menos en lo referente a viviendas y comercios expuestos a inundaciones, son cifras muy mínimas” (AYALA-CARCEDO, 2002b, pág. 982).

⁷ El Consorcio de Compensación de Seguros considera *Riesgos extraordinarios* determinados *fenómenos de la naturaleza* (inundaciones, terremotos, maremotos, erupciones volcánicas, tempestades de determinada intensidad, caída de cuerpos siderales y aerolitos) y algunos hechos derivados de determinados *comportamientos de incidencia política o social* (terrorismo, rebelión, motín, sedición, tumulto popular y actuaciones de las Fuerzas Armadas y Cuerpos de Seguridad en tiempo de paz).

respuesta funcionase adecuadamente) o aquella que incluye los *usos planificados* para poder valorar el potencial impacto futuro.

1.1.4. VULNERABILIDAD DIFERENCIAL DE LOS ELEMENTOS

Como hemos visto, una parte de la vulnerabilidad de los elementos en riesgo viene determinada por los daños o perjuicios potenciales que pueden provocar un episodio de inundaciones. Sin embargo, debemos tener en cuenta que la respuesta de estos elementos, ya sean edificios, infraestructuras o cualquier otro uso, no será uniforme y, probablemente los elementos presenten comportamiento individual en función de sus propias características.

Así, por ejemplo, la vulnerabilidad de las infraestructuras variará dependiendo del tipo de red. Las de saneamiento pueden experimentar atascos por la carga sólida, especialmente la vegetación, y pueden sufrir reventones por entrada de un exceso de carga. Las redes viarias presentan varias afecciones. Por un lado, existe el peligro de socavación de los apoyos de los puentes y, por otro, se encuentran las alcantarillas o tubos de drenaje mal dimensionados que pueden causar deficiencias de drenaje aguas arriba produciendo daños en la vía.

TIPOS	SUBTIPOS
NO BASEMENT	- ONE FLOOR - SPLIT LEVEL - TWO OR MORE FLOORS
UNFINISHED BASEMENT	- SPLIT LEVEL - TWO OR MORE FLOORS
FINISHED BASEMENT	- SPLIT LEVEL - TWO OR MORE FLOORS
MANUFACTURED (MOBILE) HOME, INCLUDING DOUBLEWIDE, OR TRAVEL TRAILER, ON FOUNDATION	
ELEVATED BUILDING	- NO ENCLOSURE - WITH ENCLOSURE (INCLUDING CRAWL SPACE)

Tabla 35. Tipos de edificios diferenciados en el National Flood Insurance Program de la FEMA.
Fuente: FEMA, 2003

FACTOR	VALOR DE LA VULNERABILIDAD		
	1	2	3
MATERIAL	HORMIGÓN / ACERO	ALBAÑILERÍA MIXTA	MADERA
NÚM. PISOS	> 4	2-4	1
EDAD EN AÑOS	< 5	5-40	> 40
ESTADO (x2)	BUENO	REGULAR	MUY DETERIORADO
ORIENTACIÓN ¹ (x2)	PARALELA	OBLICUA	PERPENDICULAR

Tabla 36. Matriz de evaluación de la vulnerabilidad por inundaciones.

Fuente: Mardones y Vidal, 2001

¹Orientación con respecto a la dirección del flujo desbordado.

Existe, por tanto, cierta incertidumbre por lo que respecta a los daños que sobre cada elemento, individualmente considerado, producirá un episodio de inundación. Así, aspectos como las características constructivas y la situación del elemento respecto a las fuerzas desencadenadas por la avenida, provocan que la vulnerabilidad real de cada elemento sea distinta a pesar de pertenecer al mismo grupo tipológico o de albergar el mismo uso⁸. Sin embargo, debemos señalar que la adopción de una metodología basada en estas consideraciones requiere la disponibilidad de un conjunto de datos extremadamente detallados que, sin duda, excede con mucho los requerimientos de la planificación regional y tan sólo será necesaria en aplicaciones muy concretas, como es el caso de las aseguradoras o en los análisis locales.

1.2. DAÑOS POR INUNDACIONES

1.2.1. TIPOS DE DAÑOS

Cuando se consideran los efectos producidos por una inundación lo habitual es diferenciar entre daños tangibles e intangibles, distinguiendo a su vez dentro de los primeros los daños directos de los indirectos. Además, como resultado de la aplicación de otros criterios, en algunos trabajos aparecen otras clasificaciones de daños (reales-potenciales, actuales-futuros, etc.).

⁸ Como indicador de la complejidad de este tema baste decir que el *Flood Insurance Manual*, elaborado por la FEMA de los EUA, diferencia más de 50 tipologías edificatorias atendiendo tan sólo a las características de la planta baja.



Figura 83. Esquema representativo del tipo de costes provocados por una inundación

En la primera división se diferencia entre aquellos daños que pueden ser valorados en términos monetarios por afectar a bienes o servicios objeto habitual de transacciones comerciales. Así, una estimación precisa de los *daños tangibles* debería estar referida a los valores de mercado de los elementos en riesgo. Por el contrario, el término *daños intangibles* hace referencia a aquellos daños o pérdidas que no son valoradas adecuadamente por los mercados (no es posible su compra-venta). Se trata de daños provocados a la comunidad tales como depresiones, estrés, incremento de la inseguridad, pérdida de bienes personales insustituibles, de animales de compañía, etc. Aunque teóricamente sería posible captar su valor económico mediante técnicas específicas, lo normal es abordar estos costes en términos no monetarios. También se suelen incluir en este grupo los daños o las pérdidas producidas sobre elementos patrimoniales (patrimonio natural, cultural, artístico, religioso, histórico, etc.) y la pérdida de vidas humanas. Sin embargo, tampoco es raro que, por su trascendencia, este último aspecto sea considerado por separado e incluso, en algunas clasificaciones se incluyan entre los daños tangibles directos.

<p>PÉRDIDAS TANGIBLES DIRECTAS</p>	<p>Daños en la estructura de edificios y en sus contenidos. Daños en vehículos. Daños en parques y jardines. Daños en edificios públicos y sus contenidos. Daños en las infraestructuras viarias y de servicios. Daños en los cultivos, forrajes, ganado y acuicultura. Daños en equipamiento, maquinaria e infraestructuras agrícolas. Daños en la vegetación natural.</p>
<p>PÉRDIDAS TANGIBLES INDIRECTAS</p>	<p>Costes de limpieza. Interrupciones de tráfico. Pérdida del valor añadido de los negocios afectados. Pérdida del valor añadido por la interrupción de la producción empresarial, el comercio minorista, el sector de la distribución y la prestación de servicios. Descenso en el rendimiento de las cosechas, pastos y forrajes no destruidos totalmente por la inundación. Costes adicionales de mantener la producción o la prestación de servicios en condiciones extraordinarias. Costes marginales de la provisión de servicios públicos alternativos. Interrupción de la prestación de servicios públicos Aumento en los costes de viaje y en la congestión, incluyendo la pérdida de mercancías o su deterioro. Costes adicionales de la intervención de servicios de emergencia, grupos de voluntariado y ejército.</p>
<p>PÉRDIDAS INTANGIBLES PERSONALES</p>	<p>Muerte o accidente debidos directa o indirectamente a la inundación. Duelo o pesar por la pérdida o lesión de seres queridos. Pérdida de objetos de alto valor personal. Efectos sobre la salud derivados de enfermedades infecciosas y respiratorias. Estrés, ansiedad, depresión, preocupación por la ocurrencia de nuevos fenómenos. Interrupción de la vida normal, evacuación, reasentamientos. Pérdida de animales de compañía. Interrupción de la escolarización, la profesión habitual o la independencia. Pérdida del valor de las tierras.</p>
<p>PÉRDIDAS INTANGIBLES PARA LA COMUNIDAD</p>	<p>Desaparición de bienes, infraestructuras y áreas comunes: áreas recreativas, parques, lugares emblemáticos, etc. Destrucción de cementerios. Incremento de la demanda de ciertos servicios ya existentes. Percepción negativa del lugar. Daños en lugares y bienes considerados patrimonio cultural, artístico, natural, etc. Cambios en el paisaje de la zona y pérdida de diversidad genética.</p>

Tabla 37. Descripción y clasificación de las pérdidas y daños ocasionados habitualmente por las inundaciones. Fuente: Adaptado de Queensland Government (2002)

Es habitual que en los daños tangibles se diferencie entre daños directos y daños indirectos. Se entiende por *daños directos* aquellos originados por el impacto directo del fenómeno natural, por lo que resultan en una destrucción o daño físico de elementos. Algunos de las pérdidas directas más habituales provocadas por una inundación son el deterioro de estructuras y contenidos de los edificios, el daño en las infraestructuras, las pérdidas en las cosechas y los daños en vehículos. La valoración de este tipo de daños está relacionada con los costes de reparación, incluyendo la merma en el valor una vez reparados, y/o reposición de los elementos afectados.

Por su parte los *daños indirectos*, se producen como consecuencia del daño o destrucción directa producida por la inundación. En el caso de inundaciones, las pérdidas indirectas más frecuentes son las derivadas de la interrupción de la prestación de servicios públicos y de la actividad comercial, las pérdidas productivas del sector industrial, es decir, los costes financieros, los trabajos de limpieza que deben ser realizados y las medidas de emergencia y auxilio que a menudo resultan necesarias.

Así pues, mientras que para la cuantificación de las pérdidas directas existe una serie de enfoques estándar establecidos (que se abordarán en los apartados siguientes), no ocurre lo mismo con los daños indirectos o intangibles, de los que, en el mejor de los casos, sólo es posible obtener valores aproximativos.

ESTUDIO	LUGAR	ELEMENTO AFECTADO	% SOBRE COSTES DIRECTOS	PARTICULARIDADES DEL CÁLCULO
Kates (1965)	Lehigh Valley	Edificios comerciales	37%	Sin costes de limpieza
		Edificios industriales	45%	
Smith et al. (1979)	Lismore	Edificios comerciales	27%	Sin costes de limpieza
		Edificios industriales	52%	
Smith et al. (1979)	Lismore	Edificios comerciales	18,50%	Sin costes de limpieza
		Edificios industriales	36%	
Smec (1975)	Brisbane	Edificios comerciales	35%	
		Edificios industriales	65%	
Smith et al. (1990)	Sydney	Edificios comerciales	55%	Sin costes de limpieza
		Edificios industriales	55%	
Read Sturges & Associates (2000)	Benalla	General	27%	26% si se excluyen las pérdidas de turismo
	East Gippsland	General	35%	
Catchment Management (1990)	Nyngan	General	33%	

Tabla 38. Algunas estimaciones de los porcentajes que suponen los costes indirectos provocados por una inundación respecto de los costes directos.

Fuente: Adaptado según datos contenidos en *Queensland Government (2002)*.

Los daños o costes indirectos, dado que son bastante más difíciles de estimar que los directos, en ocasiones son cuantificados en forma de un porcentaje determinado de los daños directos. Por ejemplo, en un estudio realizado por la consultora australiana SMEC (2002), se asumió que los daños indirectos en las propiedades de tipo residencial suponían un 15% de los daños directos sufridos por éstas, mientras que en el caso de las propiedades industriales y comerciales, se supuso que los primeros ascendían al 33% de los daños directos causados en ellas. Por otro lado, parece haber evidencia de que los costes indirectos se incrementan como proporción del total de costes totales del desastre a medida que aumenta la magnitud de este.

A menudo la estimación de las *pérdidas intangibles* se convierte en una especie de “cajón desastre” en el que se incluyen todos aquellos costes que son difíciles de estimar, para los cuales no suele haber total consenso en cuanto a cuál es el mejor método estimación, y para los que los mercados no ofrecen valores de referencia. Con diferencia, es el uso residencial es el que sufre, en este tipo de desastres, unos mayores costes intangibles, ya que el comercio y la industria

manufacturera presentan menores pérdidas intangibles relacionadas básicamente con la pérdida de confianza de los clientes y de futuros contratos⁹.

ESTUDIO	LUGAR	PRINCIPALES PÉRDIDAS INTANGIBLES	ESTIMACIONES REALIZADAS DE LAS PÉRDIDAS INTANGIBLES
Stern (1976)	Buffalo Creek	Traumas psicológicos debidos a la cuantiosas pérdida de vidas humanas	Supusieron el doble que los daños directos sufridos por las familias
Allee et al (1980)			
Parker, Green & Thompson (1987)	Reino Unido	Estrés, pérdida de elementos de alto valor personal, destrozos en los jardines privados	Medidas en un ránking, estas pérdidas se situaron por encima de los daños en estructuras y contenidos de las casas.
Chamberlain, Hartshorn et al (1981)	Brisbane	Efectos emocionales y psicológicos del desastre	Constatación de que estos efectos perduraron durante años después de producirse la inundación

Tabla 39. Algunas estimaciones de la magnitud de las pérdidas intangibles provocados por inundaciones. Fuente: Adaptado según datos contenidos en *Queensland Government (2002)*.

En la mayoría de evaluaciones no es frecuente encontrar valores para las pérdidas intangibles. Sin embargo, en muchos eventos de larga duración, tales como algunos episodios de inundaciones que permanecen durante días o semanas, las pérdidas indirectas e intangibles pueden llegar a ser muy superiores a las directas. Lamentablemente, los métodos estándar existentes en la actualidad no suelen contemplar estos hechos adecuadamente. La importancia sustancial que a menudo tienen los costes intangibles sugiere que éstos no deben ser ignorados por el simple hecho de que no puedan ser estimados o su estimación resulte difícil. En muchas ocasiones, por estos motivos algunos expertos han optado en sus estudios por valorar las pérdidas intangibles mediante una escala no monetaria.

No obstante, el hecho de no valorar económicamente las pérdidas intangibles tiene problemas, principalmente asociados con que estos costes no serán tenidos en cuenta en la evaluación de propuestas de mitigación; incluso en el caso de que estas pérdidas sean tenidas en cuenta, el proceso de ponderación de la importancia que tienen los diferentes impactos implica la necesidad de realizar algún tipo de valoración relativa.

Por lo que se refiere a otras clasificaciones, en algunos análisis se realiza una interesante aproximación al cálculo de los daños diferenciando los daños reales de los potenciales, entendiendo éstos como el impacto máximo que produciría una inundación si no se toma ninguna acción preventiva. Lo normal es calcular los daños reales como un porcentaje de los potenciales, por ello es más fácil realizar las estimaciones sobre el grupo de daños tangibles. Se estima que los daños reales suponen entre el 50 y el 70 % de los daños potenciales, si bien la

⁹ No obstante, desde una perspectiva de análisis nacional, estas pérdidas estarían compensadas por las ganancias adicionales que otros negocios e industrias de dicha economía obtendrían.

incidencia final depende de varios factores, en especial de la capacidad de alerta temprana (tiempo de reacción previo) y de la experiencia de la comunidad en inundaciones¹⁰.

También existen algunos trabajos que tratan de evaluar el posible impacto futuro analizando la posible evolución de la situación diagnosticada en el momento de la realización del estudio¹¹. Se trata de aproximaciones que tratan de evaluar el posible impacto territorial de las inundaciones en los escenarios futuros más previsibles. Sin embargo esta valoración prospectiva, como se reconoce en los propios estudios, persigue un objetivo difícil de alcanzar en el que se ha de hacer frente a fuertes limitaciones en el establecimiento de las hipótesis de trabajo, producto del grado de incertidumbre. Pero además, resulta evidente que la constatación de una peligrosidad contrastada provocará la modificación de los desarrollos territoriales previstos o la adopción de medidas y actuaciones específicas destinadas a reducir algunos de los factores (peligrosidad, vulnerabilidad o exposición) que determinan el riesgo final sobre los usos del suelo previstos en el planeamiento.

Por último, debe tenerse en cuenta que, si el propósito de la estimación de las pérdidas es proveer una visión amplia de lo que pueden ser las pérdidas potenciales, o ayudar en la toma de decisiones o las labores de mitigación, entonces debería además estimarse el impacto derivado de eventos extremos asociados que, aunque suelen tener una pequeña probabilidad de ocurrencia, a menudo son los que producen los mayores impactos sobre el territorio.

1.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS INUNDACIONES Y DAÑOS

Como ya se ha señalado la determinación de la vulnerabilidad ante los fenómenos de inundación resulta compleja por la multiplicidad de factores y aspectos relacionados. Una de estas dificultades deriva de la incertidumbre o la escasa aproximación a la extensión o magnitud de evento así como a la determinación, de una forma fiable y exacta de algunas de sus características. Desgraciadamente, todavía hoy en día, algunos de estos aspectos no son completamente cuantificables ni perfectamente mensurables, o no lo son mediante metodologías tecnológica, técnica y económicamente generalizables.

Los daños finales dependen de la relación que se produce entre las características específicas de cada elemento considerado (fecha de construcción,

¹⁰ Debe tenerse en cuenta una alerta temprana a una comunidad concienciada (con experiencia) permite no sólo poner a salvo los elementos móviles (vehículos, caravanas, etc.) sino salvaguardar adecuadamente los bienes materiales valiosos o elevar gran parte del contenido de las residencias y los negocios.

¹¹ Este tipo de aproximación aparece, por ejemplo, en el PATRICOVA (Conselleria d' Obres Públiques, Urbanisme i Transports de la Generalitat Valenciana, 2002).

materiales, técnica de cimentación y de construcción) y las propiedades de la avenida (profundidad, velocidad, carga, salinidad, etc.).

Tradicionalmente la predicción de los daños potenciales de las inundaciones se ha realizado mediante la aplicación de “curvas de daño” que expresan en términos monetarios las pérdidas materiales en función de la profundidad de la avenida. Tan sólo en contadas ocasiones, y para ámbitos espaciales muy reducidos, se han tenido en cuenta otras características como la velocidad o la salinidad del agua. Existe una falta de conocimiento sobre los efectos provocados por la presión hidrostática e hidrodinámica del agua así como los derivados de la flotabilidad, rozamiento y presión ejercida por los materiales que componen la carga¹². Algunos autores¹³ consideran que, una vez estandarizadas las pérdidas producidas por el calado, la velocidad y la carga de sedimentos pasan a ser los siguientes parámetros críticos a la hora de estimar los daños directos.

Por otra parte tampoco debemos olvidar que los eventos como las inundaciones no se producen de forma aislada y autónoma. Los fenómenos asociados a las inundaciones, como posibles fuertes vientos o intensas lluvias, y los efectos desencadenados por éstos, tienen gran trascendencia en el impacto final.

Así, en el proceso de estimación de pérdidas provocadas por una inundación, las cuestiones anteriores exigen gran cuidado a la hora de separar bien las posibles consecuencias de cada evento producido; esto implica la necesidad de decidir el alcance con el que los atributos de cada fenómeno individual pueden influir en la estimación de las pérdidas. (*Queensland Government, 2002*)

Con independencia de los efectos producidos por aquellos fenómenos asociados, existen una serie de parámetros claves que caracterizan las inundaciones y que son determinantes en su potencial impacto final. Sin embargo, no todos los factores que caracterizan a las inundaciones presentan la misma importancia ni se han analizado con el mismo grado de detalle. Así, por ejemplo, es habitual que los daños directos sobre las edificaciones se centren tan sólo en el deterioro provocado por el contacto directo con el agua. Algo parecido ocurre con el tipo de evento ya que lo más frecuente es que el cálculo de los daños se realice teniendo en cuenta la profundidad que podría alcanzar una avenida lenta complementada, a lo sumo con algún parámetro arbitrario de duración.

¹² Los comportamientos de los elementos resulta muy diferente según su naturaleza. Así por ejemplo, en el caso de una caravana (*Thomalla et al, 2002*) debería tenerse en cuenta que la fuerza de flotación (debida a la profundidad de avenida) reduce la fuerza de empuje lateral (producida por la velocidad del agua) que terminaría provocando el vuelco.

¹³ Green, C.H., Parker, D.J., (1994). “Report on the Transferability of Flood Loss Estimation Data Between Countries”. Middlesex University Services on behalf of Socié'te' d'ingé'nerie pour l'eau et l'environnement, Report No. 7016. April. En Kelman y Spencer (2004).

Básicamente, se consideran relevantes tres parámetros fundamentales: Profundidad o calado, velocidad y duración. Sin embargo existen una multitud de factores (fuerzas, presión, reacciones químicas) que caracterizan un evento de inundación y que determinan magnitud del daño que es capaz de producir. El propio USACE¹⁴, en uno de sus trabajos, había resaltado la importancia de factores como la velocidad, duración, carga de sedimentos, frecuencia, alerta temprana o características de las edificaciones.

FLOOD CHARACTERISTICS	AGRICULTURE	BUILDINGS	REGIONAL/NATIONAL ECONOMY	RISK TO LIFE
TIMING OF FLOOD	X			
DEPTH OF FLOODING		X		X
DURATION OF FLOODING	X		X	
FLOW VELOCITY		X		X
EXTENT OF FLOODING			X	
DEBRIS LOAD	X	X		

Tabla 40. Importancia de las características de las inundaciones en el impacto generado en algunos elementos del sistema
Fuente: Nakamura et al, (2001)

1.2.2.a. Calado, velocidad y duración

El *calado* es la altura alcanzada por el agua con respecto a la localización de cada elemento en riesgo. Se trata del parámetro clave para caracterizar una inundación. Suele ser tomado como referencia esencial para medir el alcance del evento a la hora de construir *curvas o funciones de daños*. En ocasiones en el cálculo de la función de daños se incorpora algún parámetro de duración, como el que considera el umbral de las 12 horas para calificar una avenida de larga o corta duración que ha sido incorporado a numerosos manuales¹⁵. Pese a que lo habitual sería considerar el calado combinado con otros factores, sobretudo la velocidad, existen algunos calados que presentan por sí mismos una especial significación:

- Entre *0,3 m* y *0,8 m* la mayoría de edificaciones tendrían su interior lleno de agua, aunque depende de su tipología constructiva, y las carreteras comenzarán a bloquearse para el tránsito de la mayor parte de vehículos. Estos a su vez se ven sometidos al empuje de la fuerza de flotación pudiendo ser desplazados y provocar daños al impactar sobre otros elementos.
- A los *3 m*: las edificaciones se colapsan y se hace más probable el desplome o hundimiento. Algunos estudios reducen esta altura

¹⁴ USACE, (1996). Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction Studies. Manual No. 1110-2-1619. USACE (United States Army Corps of Engineers), Washington, D.C. 1 August. En Kelman y Spencer (2004).

¹⁵ Kelman y Spence (2004).

crítica hasta los 1,8 m en áreas con una alta densidad de viviendas sobre todo si se trata de tipologías unifamiliares.

La *velocidad del agua* es otro de los parámetros clásicos analizados. A una baja velocidad (menos de 1 m/s), las inundaciones son relativamente poco peligrosas. En cambio, si la inundación se mueve a gran velocidad, además de incrementarse la peligrosidad, aumentan de forma significativamente los daños directos y, si no se ha producido una advertencia o alerta previa sobre el fenómeno, podrían causarse notables daños intangibles.

Como ya señalábamos anteriormente la combinación de velocidad y calado es habitual en las evaluaciones de los daños por inundaciones. Así Clausen¹⁶ en 1989, analizando los daños producidos por la una presa, estableció los siguientes umbrales:

- Cuando la velocidades es inferior a 2 m/s o el resultado del producto de calado por velocidad es menor de de 3 m²/s los daños se limitan a los producidos por el efecto del contacto con el agua.
- Si la velocidad es mayor de 2 m/s pero el calado por la velocidad no supera los 7 m²/s se producirán daños parciales sobre las estructuras.
- Por último, si la velocidad es mayor de 2 m/s y el calado por la velocidad supera los 7 m²/s la destrucción será total.

Como se puede ver en el gráfico siguiente (Figura 84), también otros autores (Stephenson, 2002) apuntan relaciones similares entre velocidad-calado y capacidad de daño.

Por tanto parece oportuno que, en un análisis de ámbito local, el parámetro del calado debería ser combinado, entre otros, con la velocidad, ya que el impacto resultante del evento, sobre todo en estructuras de edificación, en ciertas infraestructuras e incluso sobre las personas, es una combinación de ambas. Así por ejemplo y atendiendo a esta combinación de factores, hay autores (Ayala-Carcedo 2002b) que han estimado que en aquellas áreas sometidas a profundidades superiores a un metro combinadas con velocidades mayores a 0,7 m/s el riesgo para la integridad de las personas ya que en estas condiciones resulta muy difícil mantener el equilibrio.

¹⁶ Clausen, L.K., 1989. Potential Dam Failure: Estimation of Consequences, and Implications for Planning. Unpublished M.Phil. thesis at the School of Geography and Planning at Middlesex Polytechnic collaborating with Binnie and Partners. Redhill. En Kelman y Spencer (2004).

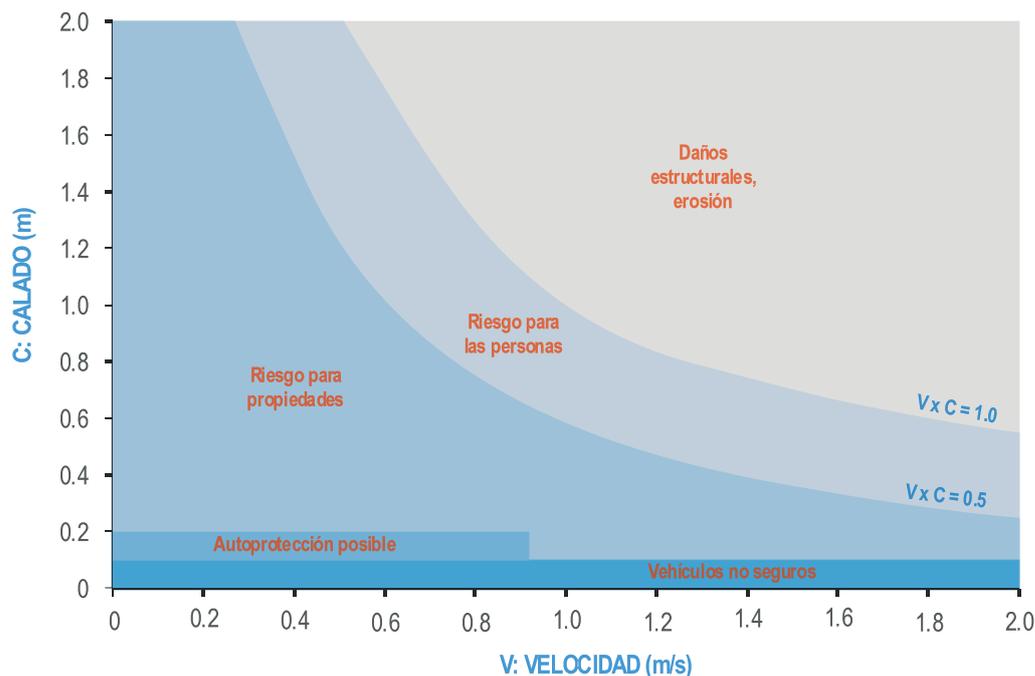


Figura 84. Capacidad destructiva de la combinación velocidad-calado.
Fuente: adaptado de Stephenson (2002)

Pero tampoco faltan autores¹⁷ que consideran que los efectos de la velocidad en el impacto final de la inundación son relativamente pequeños, salvo en el caso de fallos estructurales, y que estarían incluidos al considerar la variable del calado. Estos mismos autores sugieren que también la duración tiene una importancia relativa mientras que la carga de sedimentos, que incide directamente en los costes de limpieza, o la contaminación por aguas residuales deberían tomarse más en serio a la hora de valorar los daños.

Por lo que se refiere a la *duración* parece haber cierto grado de consenso en los trabajos en considerar las 12 horas como umbral. Se considera que las inundaciones de larga duración (más de 12 horas) pueden provocar graves daños en las estructuras (básicamente, en edificios e infraestructuras).

No obstante, la duración resulta aún de mayor importancia para estimar las pérdidas indirectas derivadas de la estimación general realizada para el conjunto de las actividades económicas. En el caso de la agricultura, el umbral de tiempo para la mayoría de las cosechas es de 5 días, después de los cuales los cultivos se desvalorizan total o casi totalmente. Cuando el sector agrícola local está dominado por un solo tipo de cultivo, entonces resulta esencial establecer el tiempo de duración de la inundación que es crítico para esa especie en concreto.

¹⁷ Penning-Rowsell, E.C., (1981). British research experience in the assessment of flood damages. Paper presented at the International Conference on Flood Disasters, 3 –5 December 1981. Indian National Science Academy, New Delhi. En Kelman y Spence (2004).

La duración es también un parámetro clave a la hora de realizar una estimación del impacto de la inundación sobre la interrupción de la actividad comercial, los negocios y la prestación de servicios.

1.2.2.b. Otros factores

Pese a que el calado, la velocidad y la duración son los parámetros habitualmente utilizados también existen propuestas metodológicas más complejas que han tratado de aproximarse al problema analizando la interacción de diversas variables. A modo de ejemplo podemos señalar la del USACE¹⁸ de 1998 que considera diferentes escenarios estableciendo los siguientes umbrales:

- Profundidad diferencial:
 - Poco profunda: < 0.9 m
 - Moderada: 0.9 a 1.8 m)
 - Profunda: >1.8 m
- Velocidad:
 - Lenta: < 0.9 m/s
 - Moderada: 0.9 a 1.5 m/s
 - Rápida >1.5 m/s
- Inundación relámpago (menos de una hora): Sí/No
- Presencia de hielo o sedimentos: Sí/No
- Localización: Costera/Ribereña
- Tipo de suelo: permeable o impermeable

En este mismo sentido resulta muy interesante el concepto de “*flood actions*” utilizado Kelman y Spence (2004) para referirse al conjunto de efectos que una inundación puede producir directamente sobre una edificación generando daños e incluso su colapso. Estos efectos pueden ser derivados del contacto directo o indirecto con el agua, de las fuerzas y presiones ejercidas de las masas de agua o del impacto de los contenidos de las propias edificaciones.

Atendiendo a su naturaleza Kelman y Spence proponen la siguiente tipología de efectos de las inundaciones sobre los edificios:

- Efectos hidrostáticos, resultado de la simple presencia de agua:
 - Presión lateral debida al diferencial de profundidad del agua en el interior y exterior del edificio.
 - Capilaridad
- Efectos hidrodinámicos, debidos al movimiento del agua:

¹⁸ USACE, (1998). Flood Proofing Performance: Successes and Failures. USACE (United States Army Corps of Engineers) National Flood Proofing Committee, Washington, D.C. December. En Kelman y Spence (2004).

Presiones hidrodinámicas variables según la velocidad de la masa de agua en contacto con el edificio.

Efectos de la velocidad sobre elementos concretos de la construcción como las esquinas.

Cambios en la velocidad en la lámina de agua (turbulencias)

Cambios en la presión hidrostática (olas)

- Efectos de la erosión el agua pone en movimiento los materiales que componen el suelo.
- Efectos provocados por la flotabilidad de los elementos.
- Efectos de los sedimentos, es decir, los sólidos que se encuentran flotando o que son arrastrados por el agua.
- Efectos no físicos (químicos, biológicos o nucleares).

Además de los efectos ocasionados por cada uno de los agentes, durante la inundación se producen combinaciones e interacciones que también debieran ser consideradas. Por ejemplo, debería tenerse en cuenta que la elevación de los elementos, debida a su flotabilidad, reduce las presiones laterales hidrodinámicas pero incrementará los efectos generados por choques, erosiones y presiones de esos materiales, elementos y objetos arrastrados por el agua.

La mayor parte del agua de una inundación está, en mayor o menor grado, mezclada con lodo y materia vegetal. Sin embargo, la contaminación del agua con agentes químicos o con residuos incrementa considerablemente todas las pérdidas directas. Algunas sustancias al entrar en contacto con el agua, además de provocar reacciones químicas (explosiones, incendios, etc.) pueden alterar sus propiedades físicas de la misma (temperatura o densidad) lo que, a su vez, modifica los efectos hidrostáticos e hidrodinámicos provocados por la inundación.

Además, limpiar todas estas sustancias o los restos arrastrados por la inundación puede incrementar las pérdidas indirectas, al prolongar el tiempo necesario de los trabajos de limpieza e interrumpir durante más tiempo la actividad económica y la vida diaria de la comunidad.

Kelman y Specer, consideran que el análisis de estos factores y sus efectos tan sólo es viable a grandes escalas, es decir a nivel local, e incluso con este grado de acercamiento resulta muy complicado analizar algunas de ellas. En este sentido clasifican las *flood actions* en tres categorías según su importancia y disponibilidad para la estimación de los daños por inundación:

- Importantes y predecibles:
 - Presiones laterales ejercidas por la diferencia de profundidad del agua en el interior y el exterior del edificio.
 - Presiones laterales originadas por la velocidad del agua

- Efectos provocados por el contacto con el agua en una avenida lenta.
- De relativa importancia y predecibles: flotabilidad.
- De relativa importancia y difíciles de predecir:
 - Capilaridad de los materiales constructivos
 - Erosión
 - Sedimentos
 - Turbulencias del agua, olas y otras fenómenos similares
 - Otros efectos: químicos, biológicos e incluso nucleares.

1.2.3. DAÑOS POR INUNDACIÓN EN LOS DIFERENTES USOS

La forma más habitual de estimar los daños causados por las inundaciones en los edificios es elaborar “*curvas de daños*”. Para llevar a cabo el desarrollo de curvas de daños referidos a edificación residencial, adoptando un enfoque sintético (daños potenciales), es recomendable seguir las siguientes fases:

- Identificar y seleccionar los tipos de vivienda representativas del área de estudio, normalmente según un criterio de tamaño y de altura.
- Tomar una muestra de viviendas de cada tipo, comprobar el tipo de contenido de cada habitáculo y valorarlo.
- Medir las alturas sobre el nivel del suelo que puede alcanzar el agua y la afección que cada una de ellas provocaría.
- Promediar los valores obtenidos para cada tipo de viviendas y construir las curvas de daños según la profundidad que potencialmente puedan alcanzar las aguas dentro de la casa.

Este mismo procedimiento puede ser llevado a cabo inmediatamente después de la ocurrencia de una inundación, si lo que se desea es adoptar un enfoque histórico o de medición que tenga como objetivo la construcción de curvas de daños reales.

En el Anexo 1 se ha recogido diversas tablas con las estimaciones monetarias de las pérdidas por inundación según la actividad, elaboradas por varios organismos extranjeros. La información de dichas tablas complementa a la contenida en este capítulo.

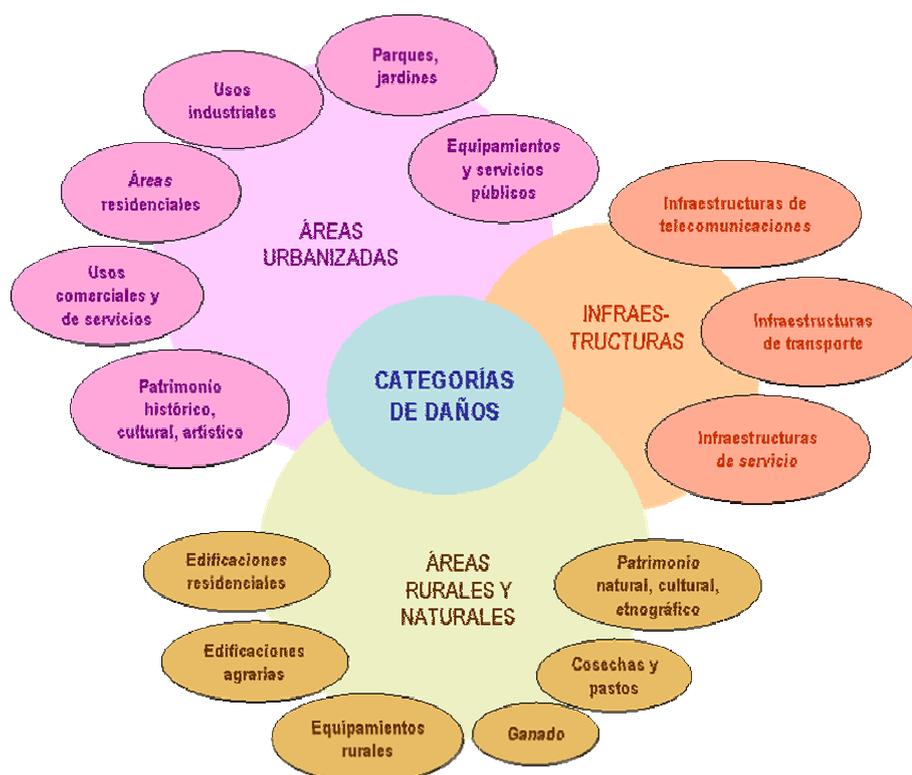


Figura 85. Esquema representativo del tipo de daños según el uso del territorio afectado

1.2.3.a. Daños sobre los usos residenciales

Los daños en edificios residenciales suelen estar presentes en la práctica totalidad de los eventos de inundación, por lo que, generalmente, suponen la mayor contribución a las pérdidas físicas totales debidas a este fenómeno. No obstante, dentro del conjunto de elementos de un edificio existe un amplio rango de vulnerabilidad, que va desde una nula o muy baja hasta la extremadamente alta. Por este motivo, para valorar el posible grado de daño general a una propiedad es necesario conocer la importancia relativa de cada elemento, parte o sección respectivamente y su grado de vulnerabilidad ante una inundación.

Según los pagos medios relativos a las propiedades afectadas por las inundaciones producidas en *Tongabbie Creek* (Australia) en 1986, los daños estructurales supusieron alrededor del 20 % de los daños residenciales medios, mientras que los daños en contenidos supusieron el 80 % restante; solamente los revestimientos de los suelos supusieron más del 20 % de los costes totales producidos.

Los cimientos de una casa (que no esté en construcción) generalmente no están expuestos a una inundación, a no ser que el edificio está situado en un lugar donde pueda abrirse un canal por una riada con alta capacidad erosiva. Este tipo de vulnerabilidad aumenta considerablemente en el caso de los edificios en construcción, en los que el foso excavado puede verse fácilmente afectado por la

erosión y los deslizamientos de tierras. El hormigón y el hormigón armado son normalmente inmunes al efecto del agua. El hundimiento o desplome, parcial o total, sólo es probable en el caso en el que el edificio esté situado sobre una terraza u orilla propensa a la erosión. La estructura del tejado y las tejas sólo serían dañadas en caso de sufrir el edificio un hundimiento parcial o total.

Para la pintura y otros materiales sensibles que recubren las paredes (papel, paneles, etc.) los efectos son bastante diferentes, ya que, en general, deben considerarse como pérdidas totales en aquellos pisos o casas con probabilidad de ser inundadas. La piedra natural, los azulejos y las baldosas no presentan generalmente problemas ante una inundación. Sin embargo, las plantas que están recubiertas de madera, moqueta o alfombras deben considerarse, por regla general, como pérdidas totales. Esto es extensible a puertas, ventanas y escaleras de madera.

COMPONENTES	% DEL VALOR DE LA INVERSIÓN MEDIA
Elementos bajo tierra	2
Hormigón y hormigón armado	17
Ladrillo	18
Escayolas y pintura	12
Estructura del tejado	3
Cubierta del tejado y otros elementos	5
Suelos, azulejos, piedra natural	11
Piezas de carpintería	12
Instalación eléctrica	4
Calefacción y agua caliente	9
Sanitarios	7

Tabla 41. Indicadores de vulnerabilidad de los componentes de las casas típicas de Centro-Europa.
Fuente: Casale, R. & Margottini, C. (1999)

El sistema de calefacción y de agua caliente debería ser analizado atendiendo a la vulnerabilidad o no vulnerabilidad de sus componentes. Es posible que las calderas puedan volver a prestar servicio tras una limpieza y secado, y una reposición de los materiales aislantes más sensibles. Otros elementos como quemadores y bombas con motores eléctricos, son sin embargo muy vulnerables, y su reposición suele resultar en la mayoría de casos más barata y rápida que su reparación y limpieza. Los interruptores y los paneles eléctricos normalmente deberán ser repuestos si ellos quedan cubiertos por el agua durante algún tiempo. En general, la instalación eléctrica puede volver a prestar servicio tras un apropiado aclarado y secado, si bien los interruptores y el teléfono tendrán que ser en general cambiados.

Los elementos sanitarios, en su mayor parte, sólo requieren limpieza. No obstante, si el agua de la inundación introduce lodo, sedimentos u otros materiales en el sistema de alcantarillado, pueden ser necesarias costosas

reparaciones o incluso su reposición en el caso de que las tuberías hayan quedado atascadas.

En general se estima que, si se descartan los daños estructurales, sólo estaría expuesto aproximadamente el 35 % del valor total de reposición de contenido de las casas, suponiendo que la inundación afecte a edificios de un solo piso. Si los elementos en riesgo son edificios de dos plantas o más, el porcentaje anterior debe ser reducido proporcionalmente, ya que en la gran parte de los casos resulta muy improbable que los niveles de la inundación alcancen el segundo piso.

Cuando se producen inundaciones, normalmente el tiempo durante el cual la población afectada necesita un *realojamiento temporal* es corto y, en gran número, suelen ser acogidas por amigos, vecinos o parientes que residen cerca del área afectada. Aunque este tipo de realojamiento temporal suele ser gratuito, es posible valorarlo alternativamente según los precios de mercado de algún tipo de alojamiento similar. Una cuestión algo más delicada de estimar son los costes del transporte de ciertos enseres y bienes previamente a la inundación o posteriormente durante el realojamiento.

Por otra parte, las tareas de limpieza suponen un coste notable para las familias tras una inundación, sobre todo porque el tiempo empleado suele ser considerable. En la metodología consultada existen algunos intentos de cuantificar este tipo de costes. Así por ejemplo, en un estudio realizado por la consultora australiana *SMEC* sobre las inundaciones sufridas en la localidad de *Brisbane* en 1974¹⁹ se estableció una relación entre la profundidad de la inundación y los costes de limpieza en términos de tiempo en días por persona (para cada hogar) como la siguiente:

$$C = 16,5 * \ln\left(\frac{F}{0,023}\right)$$

Donde:

C representa el tiempo de limpieza por hogar y por persona/días, y

F es la altura alcanzada por las aguas en metros.

La curva resultante probablemente sea más apropiada para determinar los costes de limpieza en aquellos casos en que las familias afectadas tienen poca experiencia previa con inundaciones ya que tiende a sobrestimar dichos costes para aquellas áreas con comunidades que presentan cierta experiencia en inundaciones.

En otros casos, ante la ausencia de información más detallada, una cifra general de 20 días por persona se considera una estimación razonable de los

¹⁹ SMEC (1975)

costes medios de limpieza. Además, la propia definición de lo que se consideran costes de limpieza plantea problemas, ya que puede recoger un amplio rango de conceptos que van desde la simple eliminación de lodos y manchas, hasta el desmontaje y limpieza de electrodomésticos (*Australian Government, 2001*). En todo caso, el principio económico más correcto para la estimación del valor de la mano de obra empleada en las actividades de limpieza de edificios residenciales es el coste de oportunidad de las personas involucradas (salario que esas personas podrían estar percibiendo).

Los costes indirectos asociados a las operaciones de rescate y auxilio de familias pueden ser en algunos casos también significativos y, generalmente, no están bien documentados, a pesar de que las Administraciones responsables suelen tener recogida esta información.

1.2.3.b. Daños sobre los usos dotacionales

Al igual que en los usos residenciales las localizaciones que acogen equipamientos y dotaciones sufrirán daños derivados de su carácter de bienes materiales (edificios, instalaciones, equipos, etc.). Por ello buena parte de las consideraciones realizadas para los usos residenciales se podrían aplicar a este grupo de usos.

Sin embargo, existe una dificultad añadida a la hora de valorar los daños o pérdidas ocasionadas por la interrupción de muchas funciones de naturaleza asistencial, administrativa o gubernamental. El enfoque más utilizado es el que realiza una valoración de dichos servicios aprovechando la tasación que realizan las propias administraciones que, normalmente, cuantifican el coste de provisión.

COSTES DIRECTOS	COSTES INDIRECTOS	COSTES INTANGIBLES
Estructura	Actuaciones de emergencia	Vidas humanas
Contenidos	Trabajos de limpieza Interrupción de la prestación de servicios públicos	Daños sobre la salud Daños en el patrimonio histórico y cultural

Tabla 42. Clasificación de los costes producidos por las inundaciones en los usos dotacionales.

Fuente: elaboración propia

Pero además, muchos servicios públicos como la educación, la asistencia sanitaria, la defensa o los servicios culturales generan además importantes externalidades positivas, ya que su prestación origina una ganancia para toda la sociedad además de la utilidad directa que obtiene el beneficiario inmediato. El principal problema radica en que el coste económico del cese de estas externalidades debido a la interrupción del servicio público, es en gran medida, intangible.

En el caso de interrupciones en servicios educativos, si éstos pueden ser ofrecidos en un lugar alternativo mediante el transporte o desplazamiento temporal de los escolares, entonces los costes indirectos provocados por la inundación deben ser valorados por los costes de transporte ocasionados.

En el caso de la interrupción de la asistencia sanitaria, las principales fuentes de costes indirectos son (*Australian Government, 2001*):

- Aplazamiento de intervenciones quirúrgicas
- Empeoramiento en la calidad de la atención a los pacientes debido al daño en instalaciones y equipos médicos
- Costes de traslado de pacientes a otros centros sanitarios

No obstante, es poco probable que los costes adicionales por estas causas, sobre la totalidad de costes del desastre, sean significativos. El componente más relevante de los costes de aplazamiento son las esperas que los pacientes tienen que asumir para ser intervenidos, ya que éstos pueden experimentar una pérdida en la calidad de vida y un agravamiento de su enfermedad durante el tiempo que dure esta situación. De nuevo, esta clase de costes es de tipo intangible. En el caso en que sea necesario trasladar pacientes a otros centros sanitarios, los costes de transporte habrán de ser imputados como costes indirectos de la inundación.

1.2.3.c. Daños sobre los usos comerciales

Al tratarse de actividades productivas de carácter privado, comercio e industria presentan muchas similitudes por lo que se refiere al tipo de daños producidos por una inundación. Además de los daños materiales que sufren las instalaciones, equipos y maquinaria, en ambos casos deben tenerse en cuenta tanto los costes provocados por el cese de la actividad como los efectos sobre las mercancías almacenadas o el stock productivo que en numerosas ocasiones puede resultar seriamente dañada e incluso quedar inservible.

En general, los daños sobre los establecimientos industriales suelen ser más difíciles de estimar, dada la gran variabilidad de tamaños y tipos de instalaciones industriales, mientras que para los usos comerciales puede adoptarse un enfoque similar al aplicado para los usos residenciales, siempre y cuando se tenga en cuenta la calidad del edificio comercial (a veces lujosamente decorado) y su grado de equipamiento, que suelen ser directamente proporcionales a volumen de pérdidas potenciales en caso de inundación.

Asimismo, en la estimación del tiempo de interrupción de la actividad comercial influye notablemente el tiempo necesario para la reposición de los componentes no estructurales afectados, que suele ser mucho mayor que el empleado para la reconstrucción de los estructurales. La vuelta a la actividad implica una sucesión compleja de tareas: el agua debe bajar su nivel, los accesos al lugar o al establecimiento deben ser restablecidos, la parte afectada del edificio debe ser limpiada y secada, y los artículos dañados deben ser eliminados antes de

que tenga lugar la reparación o reposición (*Casale y Margottini, 1999*). Todos ello hace que los factores de retraso sean múltiples y en algunas ocasiones impredecibles.

Los negocios y comercios pueden quedar inoperativos durante una inundación y por algún tiempo tras producirse ésta, mientras que los locales son limpiados y los equipamientos son reparados o repuestos. Las *pérdidas por la interrupción de los negocios* durante todo este periodo pueden tener consecuencias financieras desastrosas y, en algunos casos, es posible que el negocio nunca llegue a recuperarse del todo.

COSTES DIRECTOS	COSTES INDIRECTOS	COSTES INTANGIBLES
Estructura	Actuaciones de emergencia	Vidas humanas
Contenidos (incluyendo equipamientos y stock)	Trabajos de limpieza	Daños sobre la salud
	Interrupción del negocio o de la producción	

Tabla 43. Clasificación de los costes producidos por las inundaciones en los usos comerciales e industriales.

Fuente: elaboración propia

El coste de la pérdida de negocio o de la interrupción de la actividad comercial es un parámetro de gran importancia. Por ejemplo, en algunos estudios²⁰ llevados a cabo en Australia se ha llegado a estimar que la pérdida de confianza de los clientes y la pérdida de beneficios comerciales y productivos supusieron el 67 % de los costes comerciales indirectos totales y el 71 % de los costes industriales indirectos totales.

No obstante, cuando este tipo de análisis se enmarca dentro de un contexto de flujos económicos (pérdidas y beneficios), la decisión de incluir (o no) los costes de interrupción de los negocios en las estimaciones totales de daños depende en cierto modo de la perspectiva territorial que se adopte. Así, desde un enfoque local del impacto, es probable que los costes indirectos derivados del cese temporal de beneficios comerciales se vean compensados con aumentos simultáneos de estos mismos beneficios en la parte del sector cercana al área inundada y que no haya sido afectada por la inundación. Del mismo modo, se debería incluir el coste de la interrupción de los negocios si las pérdidas se ocasionan en compañías situadas fuera del área local.

En lo referente a los *costes de limpieza de las compañías industriales o los establecimientos comerciales*, en una proporción pequeña de los casos se procede

²⁰ Smith, D. I., Den Exter P., Dowling, M. A., Jelliffe, P. A., Munro R. and Martin W. C. (1979): *Flood damage in the Richmond Valley New South Wales: An assessment of tangible and intangible damages*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra. En *Australian Government (2001)*

a la contratación de un servicio de limpieza y, normalmente, la propia plantilla de empleados colabora con estas tareas. Estudios realizados en Australia²¹ sugirieron que los costes de limpieza y los asociados a la eliminación y almacenamiento de residuos representan aproximadamente el 9 % de los costes causados por daños directos en edificios comerciales y el 15 % de los costes por daños directos producidos en los establecimientos industriales.

No obstante, otras estimaciones posteriores realizadas también en este país tomaron distintas referencias para estimar los costes de limpieza. Por ejemplo, en las inundaciones acontecidas en Nyngan en 1990²² se estimó que para limpiar cada establecimiento comercial afectado por una inundación, por término medio, fue necesario el trabajo de cuatro personas trabajando durante 5 días (ó 20 días una persona) y 8 horas diarias. Por el contrario, en las inundaciones ocurridas en Sydney en 1986²³, se estimó que los costes de limpieza eran de 11 días por persona y propiedad industrial o comercial de tamaño pequeño (menores de 186 m²).

1.2.3.d. Daños sobre los usos industriales

En general, en las *instalaciones industriales* los daños graves en la edificación por causa de las inundaciones tan sólo se producen en caso de colapso ya que los materiales que componen paredes, suelos o puertas son muy poco sensibles. No obstante, se debe poner especial cuidado en zanjas subterráneas y conductos para cableado o tubos, ya que no suelen ser herméticos y por tanto, su interior puede ser alcanzado por el agua.

Por otra parte si el agua alcanza este tipo de edificaciones, lo más probable es que se generen altos costes de limpieza de depósitos y lodos. No obstante, los costes de limpieza para los establecimientos industriales tienden a ser más difíciles de estimar dada la diversidad de tipos de instalaciones industriales. (*Australian Government, 2001*)

No obstante, en un análisis a gran escala, se pueden aplicar una serie de parámetros principales para establecer la vulnerabilidad de cada instalación industrial ante una inundación. Estos parámetros pueden resumirse en (*Casale y Margottini, 1999*):

²¹ Smith, D. I., Den Exter P., Dowling, M. A., Jelliffe, P. A., Munro R. G. and Martin W. C. (1979): *Flood damage in the Richmond Valley New South Wales: An assessment of tangible and intangible damages*. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra. En *Australian Government (2001)*

²² Catchment Management Unit (1990), *Nyngan: April 1990 Flood Investigation*, NSW Department of Water Resources, Sydney. En *Australian Government (2001)*

²³ Smith, D.I. Handmer, J.W., Greenaway, M.A. & Lustig, T.L. (1990a), *Losses and Lessons from the Sydney Floods of August 1986, Volume 1, Environmental Management*, Sydney and Centre for Resource and Environmental Studies, ANU, Canberra. En *Australian Government (2001)*

- El diseño del edificio, que permita una entrada fácil del agua, lodo, suciedad o cualquier otro tipo de materiales arrastrados por la inundación, o que haga que las reparaciones sean imposibles o muy difíciles.
- La existencia de partes del edificio o componentes que sean sensibles al agua, el lodo, la suciedad o la corrosión, y/o tengan altos costes de montaje y desmontaje, reparación o reposición.
- La localización de los elementos de riesgo durante las fases de almacenaje y producción, o después de su puesta en servicios en la industria.
- La presencia de materias primas, productos elaborados y semielaborados, que sean sensibles al agua o a los materiales arrastrados por la inundación.
- La existencia de sustancias que sean peligrosas, nocivas o contaminantes, en caso de que se produzca un escape durante la inundación.

Además existe una serie de condicionantes derivados del tipo de actividad productiva a la que se dedique la instalación industrial. A continuación se señalan algunas particularidades significativas (*Casale y Margottini, 1999*):

Plantas de generación termo-eléctrica: dado que necesitan agua para los procesos de refrigeración, estas plantas suelen estar localizadas cerca de los cursos de agua, hecho que las expone potencialmente ante una inundación. Los daños en los equipamientos más sensibles, como las salas de control y de interruptores, sólo son susceptibles en las fases de construcción y montaje de la planta, ya que por lo general están situadas en zonas seguras. Los equipamientos más sensibles a los niveles que puede alcanzar la inundación son los motores de las bombas, los ventiladores, transformadores y las instalaciones eléctricas exteriores.

Centrales hidroeléctricas: el nivel de exposición de estas plantas es muy difícil de concretar, ya que depende de su localización y de la resistencia a la fractura de sus compuertas de regulación. En todo caso, las turbinas no son vulnerables a la inundación, pero sí que lo son los generadores, transformadores e instalaciones eléctricas.

Instalaciones de distribución eléctrica: los transformadores utilizados en estas instalaciones se encuentran, normalmente en una posición sobre elevada, por lo que es muy poco probable que el agua los alcance, si bien, en la parte baja pueden encontrarse dispositivos de refrigeración que funcionan con motores eléctricos, y que sí son altamente vulnerables a la inundación. Las líneas de alta tensión están montadas sobre soportes de gran altura por lo que su exposición suele estar muy reducida a no ser que se colapsase uno de los soportes. Por el contrario, las salas de control, interruptores y paneles eléctricos suelen

encontrarse al nivel del suelo y están altamente expuestos. Además, bajo el nivel del suelo se pueden encontrar líneas soterradas, en especial en los entornos urbanos, que son propensos a inundarse y llenarse de lodos y sedimentos.

Instalaciones de generación de energía por medio de gas o gasóleo: aunque estas plantas pueden estar localizadas lejos de cursos de agua, no puede descartarse la posibilidad de que se vean afectados por una inundación. Un hecho destacable es que estas instalaciones tienen la mayoría de sus equipamientos instalados en el suelo: si los motores disponen de aperturas en sus carcasas (por ejemplo, agujeros de ventilación), el agua puede penetrar en los motores de gasóleo y provocar pérdidas sustanciales. En todo caso, el generador y la zona de controles son muy vulnerables.

Plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales: durante su construcción, estas instalaciones pueden estar muy expuestas, debido a la existencia de motores e instalaciones eléctricas. Los depósitos y decantadores requieren especial atención. En el caso en el que estas instalaciones estén construidas por debajo del nivel del suelo, en ocasiones se colocan bombas para bajar el nivel de las aguas freáticas que pueden inundar la oquedad donde se sitúa el depósito o decantador; en el caso de producirse una inundación que dañe los motores de las estaciones de bombeo, las estructuras pueden ser sacadas a flote por la inundación y ser despegadas del hueco donde están situadas, provocando un daño muy grave o total en estas instalaciones.

Por otro lado, en los tratamientos actuales de depuración y potabilización de aguas se suele recurrir a la cloración y, por tanto, es necesario el almacenaje de tanques con cloro. El mayor peligro de estos elementos se produce si la inundación es capaz de arrastrarlos aguas abajo o de provocar la presión suficiente como para que se rompan las tuberías que transportan el cloro desde los tanques, lo cual podría tener graves consecuencias.

Instalaciones de telefonía, televisión y radio: los componentes eléctricos y electrónicos de estas instalaciones son muy sensibles, por lo que aquellas partes que sean susceptibles de ser alcanzadas por las aguas pueden ser consideradas como pérdidas totales.

Plantas de almacenamiento, tratamiento y procesamiento de hidrocarburos líquidos y gaseosos: este tipo de plantas puede plantear algunas preocupaciones en su fase de montaje y construcción; por un lado, en los casos en que los trabajos de excavación y cimentación representan una parte significativa del coste total del proyecto y, por otro lado, en aquellos proyectos con un lugar de pre-almacenamiento con riesgo. En cualquier otro caso, los problemas más graves se dan por el posible daño sobre el equipamiento eléctrico y la maquinaria. Buena parte de la maquinaria y de los equipos afectados debe ser desarmada, limpiada meticulosamente y montada de nuevo por mano de obra experta, hecho que encarece sustancialmente los costes provocados por la inundación y causa grandes retrasos en este tipo de actividad. Finalmente, parte

del equipamiento como tuberías y cables contenidos en zanjas y tanques, hornos, columnas de destilación, intercambiadores de calor, torres de refrigeración, etc., están situados en el suelo total o parcialmente.

Tanques y depósitos de almacenamiento: durante su fase de construcción, estos depósitos son altamente vulnerables, ya que requieren intensas labores de excavación y cimentación, tanto para los tanques como para sus sistemas de tuberías. Una vez completada su construcción y montaje, estos elementos presentan un problema de flotación, aunque este riesgo es muy poco probable en el caso de tanques muy grandes o que dispongan de potentes anclajes y se reduce si se encuentran llenos. Por otro lado, los tanques horizontales suelen situarse sobre cimientos que están a una determinada altura sobre el suelo. En este caso, su seguridad depende de la distancia al suelo y de la buena calidad del anclaje, que pueden paliar en cierta medida el riesgo de flotabilidad. Probablemente el mayor riesgo se producirá en el caso de que la inundación sea capaz de arrastrar tanques, ya que entonces pueden golpear otros elementos a su paso o pueden liberar las sustancias que contienen contaminando los suelos, aguas subterráneas y sistemas fluviales.

Acerías y fundiciones: las acerías cuentan con numerosos elementos situados a nivel del suelo o en fosos, y que son altamente vulnerables ante una inundación. Los daños pueden ser muy graves en el caso de que el agua logre penetrar hasta el equipo de conducción de los trenes de rodillos, de las instalaciones de fundición continua o de los hornos de coque. Para este tipo de instalaciones, la alerta temprana puede ser de enorme trascendencia, ya que puede dar tiempo a cerrar los hornos y fundiciones y a tomar las precauciones oportunas para que no se corte el suministro de electricidad.

Industria metalmecánica, del plástico y del caucho y de instalaciones eléctricas: en general, este tipo de instalaciones son muy sensibles debido a la existencia de gran cantidad de elementos vulnerables: motores y sistemas eléctricos, cajas de engranajes y paneles de control, máquinas dirigidas por ordenador, etc. Además, la maquinaria suele estar muy perfeccionada y suele haber componentes y equipos cuyos engranajes, ejes y fijaciones están diseñados para realizar tareas de alto grado de precisión; en caso de ser inundados, estos elementos requerirán una extensa labor de desmontaje para ser limpiados por dentro, reponer las partes más afectadas y ser finalmente montados de nuevo. Estas labores normalmente tendrán que ser subcontratadas rápidamente a personal especializado, ya que la corrosión puede deteriorar irreversiblemente los elementos alcanzados por la inundación.

Plantas de galvanizado y otros procesos de recubrimiento: en general, se plantean problemas similares a los de las fundiciones y, además, en el caso de que se utilicen depósitos de galvanización en caliente la vulnerabilidad aumenta porque suelen estar situados a ras del suelo. Por otro lado, los diferentes procesos de recubrimiento tienen un riesgo añadido: normalmente, los materiales para el

recubrimiento se almacenan en tanques o depósitos, tienen una alta toxicidad y son extremadamente peligrosos si se mezclan.

Industrias del cemento, cal, yeso y canteras: en general, los daños sobre este tipo de industrias es moderada debido a que hay una pequeña proporción de componentes sensibles, que son los relacionados con motores, instalación eléctrica, etc. Algunas instalaciones como la transmisión de los hornos rotatorios, al encontrarse por encima del nivel del suelo, sólo es susceptible de ser dañada si el nivel del agua sube notablemente. No obstante, en algunas plantas en las que existe un sistema de transporte del material puro hasta las instalaciones, puede darse el caso de que una fuerte escorrentía destruya los cimientos de la estructura que soporta las cintas transportadoras, provocando su derrumbe y su inactividad por un largo periodo.

Industrias del vidrio: generalmente, los hornos y la maquinaria para fabricar el vidrio y cristal suelen estar situados al nivel del suelo, por lo que la única manera de evitar graves daños es la previa advertencia de la posibilidad de inundación, de modo que, al menos, los hornos puedan ser apagados. No obstante, poco se puede hacer por proteger las máquinas utilizadas en la fabricación del cristal y los extensos sistemas de transporte de material, que en general, requerirán de una intensiva limpieza y reparación posterior.

Aserraderos: generalmente, los troncos y maderos aserrados serán en gran parte diseminados y arrastrados por la inundación. Los daños en las sierras y motores eléctricos requerirán el posterior desmontaje, limpieza y reparación, y la reposición de las piezas metálicas que hayan sido afectadas por la corrosión. Por otra parte, el desplazamiento de la madera almacenada puede producir daños por el impacto con otros elementos que encuentre a su paso.

Industria de transformación de madera y fabricación de muebles: las industrias de madera contrachapada, chapada o aglomerada contienen gran cantidad de maquinaria con diseño relativamente abierto y con muchas partes sin pintar, por lo que si son alcanzadas por la inundación es muy probable que se produzca corrosión en las partes metálicas, especialmente en cuchillas y herramientas cortantes. Además, las fábricas de madera contrachapada y aglomerada suelen contar con grandes prensas multi-proceso que, aunque tienen apariencia robusta son muy vulnerables, ya que si el agua inunda los tanques que contienen el líquido usado en sus sistemas hidráulicos se contaminarán con sedimentos y agua los pistones y los cierres.

Fábricas de papel y cartón: prácticamente toda la maquinaria valiosa de estas fábricas tiene un diseño abierto y contiene elementos vulnerables. En general, si son afectados por el agua, será necesario un profundo desmontaje, limpieza, reparación, reposición, montaje y puesta de nuevo en servicio. Todas estas labores, que requieren mano de obra especializada, generarán grandes pérdidas y una larga interrupción de la actividad.

Imprentas y papelerías: la vulnerabilidad es muy alta si existen modernas impresoras de alta rapidez y calidad. Además, si el equipamiento fotográfico y los ordenadores son alcanzados, deben considerarse las pérdidas como totales.

Fábricas de piel, industria textil y de confección: las fábricas de piel pueden ser equiparadas a las metalmecánicas en muchos aspectos. Por su parte, la vulnerabilidad de la industria textil es semejante a la de las fábricas de papel y las imprentas. No obstante, las fases de hilado y tejido son las más sensibles, ya que si la maquinaria empleada en estos procesos de confección es alcanzada debe realizarse un completo desmontaje y limpieza; además, su poca altura hace que con un calado pequeño los daños sean muy altos.

Industria farmacéutica y cosmética: la vulnerabilidad de la maquinaria puede ser algo inferior a la de las imprentas, pero, en las industrias farmacéuticas y cosméticas se requerirían labores de limpieza extremadamente amplias, y que compensan los menores costes de reparación y/o reposición en comparación con la actividad de impresión.

Fábricas de pan, galletas y golosinas: aunque la maquinaria empleada en este tipo de instalaciones es normalmente menos sensible que la utilizada en los procesos habituales de la industria, los requerimientos de una estricta limpieza tras la inundación aumentarían de todas formas los costes.

Fábricas de bebidas: las fábricas de bebidas presentan la mayor vulnerabilidad dentro de las secciones de embotellado y envasado, ya que si el agua y los sedimentos penetran será necesaria una limpieza exhaustiva que encarece los costes y los tiempos de interrupción productiva. Por otro lado, algunos de los tanques o depósitos son susceptibles de flotar y ser desplazados.

Industria láctea y conservera: este tipo de plantas es muy vulnerable, ya que aunque gran parte de sus instalaciones y maquinaria son de acero inoxidable, en caso de ser inundadas deben ser desmontadas, escrupulosamente limpiadas y montadas de nuevo antes de ser puestas en servicio. La sensibilidad del material de refrigeración puede ser aún mayor, y en general, las máquinas relacionadas con los procesos de relleno y empaquetado tienen unas características similares a las secciones de embotellado de la industria de bebidas.

Laboratorios e instalaciones dedicadas a la investigación: en términos generales, el equipamiento de los modernos laboratorios y de las instalaciones dedicadas a la investigación son muy sensibles al agua y a la suciedad, o bien requieren intensos trabajos de limpieza. En el caso de que sea posible la reparación los costes suelen ser muy elevados. Otros problemas paralelos que pueden aparecer son la eliminación de rótulos y etiquetas en contenedores de sustancias nocivas o en reactivos, la pérdida de material gráfico e informático, el derrame de productos químicos, etc.

1.2.3.e. Daños sobre las infraestructuras

Con frecuencia, las inundaciones provocan daños en vías férreas, carreteras y puentes, e incluso en sistemas de alcantarillado y en la red de distribución de agua. En el caso de las carreteras, aparte del daño inicial, las inundaciones también aceleran el deterioro natural de estas infraestructuras debido al efecto que tiene la entrada del agua por debajo del pavimento. En estos casos, los costes directos son fácilmente estimables porque las Administraciones Públicas suelen tener suficiente información acerca de los desembolsos necesarios para reparar la obra civil dañada.

La fuente más habitual de *costes indirectos en las infraestructuras de transporte* se debe a los retrasos en el tráfico tras el desastre, aunque en muchas ocasiones, por las dificultades de medida que conlleva, no sean estimados. En esencia, los costes de las interrupciones en la red de carreteras tienen dos componentes básicos: los costes adicionales ligados a la conducción y los costes de oportunidad de los retrasos en el tiempo para los ocupantes y las mercancías.

En las áreas urbanas, el problema más común suelen ser los retrasos debidos a vehículos que no son capaces de moverse en las autovías y autopistas inundadas. Según se apunta en algunos estudios (*Parker et al 1987*), a menos que el volumen de tráfico exceda los 4.000 vehículos por día en ambos sentidos y la capacidad de las vías de comunicación alternativas sea relativamente baja, los costes asociados a las interrupciones y los retrasos en el tráfico son probablemente bajos. No obstante, en cada caso deben analizarse distintos parámetros de relevancia, además del volumen de tráfico, como es la abundancia de desvíos y rutas alternativas, las distancias y tiempos adicionales que han de ser asumidos, etc.

En lo que se refiere a *infraestructuras de servicio*, los ceses en la provisión de energía causan problemas en el funcionamiento de los sistemas informáticos, que pueden convertir el tráfico en una congestión caótica y ocasionar grandes pérdidas en los procesos productivos industriales y en la prestación de servicios. Por otro lado, la interrupción de las telecomunicaciones puede además reducir sustancialmente la eficacia de la respuesta ante el desastre.

Fuera del área afectada por el desastre también se puede sufrir este tipo de inconvenientes, si bien probablemente tengan una corta duración.

COSTES DIRECTOS	COSTES INDIRECTOS	COSTES INTANGIBLES
Estructura	Interrupción de tráfico y suministros Interrupción de las telecomunicaciones Trabajos de limpieza	Daños en el patrimonio histórico y cultural Vidas humanas Daños sobre la salud

Tabla 44. Clasificación de los costes producidos por las inundaciones en las infraestructuras
Fuente: elaboración propia

También aquí es posible señalar unas cuantas reglas generales acerca de los proyectos de ingeniería civil y su vulnerabilidad ante una inundación cuando éstos se encuentran en fase de construcción:

- En primer lugar, cualquier obra civil que incorpore amplias excavaciones y movimientos de tierra, es vulnerable ante la inundación y requiere el análisis de un experto a la hora de evaluar el grado concreto de riesgo.
- Si los proyectos anteriores, además, se extienden a lo largo de distancias considerables y tienen posibilidad de que la escorrentía fluya y se acumule en las excavaciones, entonces dichas obras deben ser consideradas como muy vulnerables.
- Si existen elementos de riesgo situados por debajo del nivel del suelo, la potencial acumulación de sedimento puede ser preocupante, particularmente si se puede acumular dentro de conductos.

Así mismo existen una serie de consideraciones particulares para cada del tipo de infraestructura (*Casale y Margottini, 1999*):

Torres, chimeneas y silos: en caso de inundación, generalmente el daño sufrido por estas construcciones suele ser de sólo una pequeña parte de su valor total, excepto en el caso de que el agua pueda desencadenar deslizamientos que pongan en peligro la obra.

Carreteras, líneas férreas y pistas de aterrizaje: las carreteras (y en general, también las vías férreas) en construcción son mucho más vulnerables que las que están terminadas, debido al peligro de erosión por escorrentía superficial. Por otro lado, la magnitud del daño depende en buena medida del diseño del proyecto y en especial de la capacidad del sistema general de canalización (cunetas, arquetas, entubados) y de la correcta ejecución de la obra. En los aeropuertos, dado que suelen estar localizados en lugares llanos, el riesgo de fuertes escorrentías es reducido

Puentes y pasos elevados: generalmente, el diseño de los puentes no protege a este tipo de proyectos contra las grandes crecidas de los ríos que tengan un periodo de retorno mayor de 50 ó 100 años. El daño puede convertirse en severo si los contrafuertes, columnas o pilares quedan afectados por la inundación.

Vías del metro, túneles y galerías: debe ser analizada la posibilidad de que el agua penetre en túneles, galerías y sus respectivos accesos, ya que en caso de afectación de este tipo de obras, el daño es sustancial.

Canales de regadío: las características de estas estructuras las hacen comparables, en vulnerabilidad, a las carreteras, si bien presentan un problema añadido; si la inundación afecta a canales puede producirse una situación

preocupante, ya que estas obras conducen el agua a lo largo de largas distancias y pueden extender considerablemente el daño.

Presas y embalses: aparte del riesgo por rotura de estos elementos, los mayores problemas se presentan durante la fase de construcción. Aunque este tipo de actuaciones incorporan estudios hidrológicos, éstos se orientan más bien a intentar asegurar la viabilidad económica del proyecto que a demostrar la seguridad misma de la construcción. Las ataguías y las instalaciones de desvío de agua normalmente proporcionan mucha menos protección de la que asumen, y las inundaciones, por tanto, se convierten en el riesgo más importante en la construcción de presas y embalses. Cuando se trata de presas y embalses ya construidos se debe tener en cuenta que, aunque la probabilidad de una catástrofe es pequeña, las consecuencias potenciales pueden ser terribles si se tiene en cuenta la pérdida de vidas humanas que puede producirse.

1.2.3.f. Daños sobre los usos agrarios

Desastres naturales como las inundaciones afectan a la agricultura provocando daños en cosechas, pastos, cercados, cabaña ganadera y otras estructuras agrarias. Los cultivos presentan un comportamiento poco homogéneo frente a las inundaciones y las características de las mismas.

Para algunos cultivos como los viñedos, los cereales y los pastos, a menudo se han desarrollado funciones de daños para intentar estimar el impacto del daño en función de la altura alcanzada por el agua y/o la duración de la inundación. Por otro lado, en algunos trabajos se ha apuntado a los efectos indirectos negativos a medio o largo plazo que las inundaciones pueden tener sobre la agricultura, tales como el incremento de plagas, la proliferación de malas hierbas, etc.

Algunos estudios que analizan inundaciones acontecidas en Australia (*Read, 2000*) señalan que en el caso de los pastos existe un periodo crítico de siete días tras el cual la vegetación probablemente haya muerto, si bien este parámetro varía notablemente según se trate de pastos regados o no regados. Por otro lado, los daños en cercados y cierres pueden representar en ocasiones una parte significativa de los costes de la inundación para los productores agrarios.

COSTES DIRECTOS	COSTES INDIRECTOS	COSTES INTANGIBLES
Equipamientos y maquinaria	Trabajos de limpieza	Vidas humanas
Estructura	Interrupción de la producción	Daños sobre la salud
Pastos y cosechas	Proliferación de plagas	
Ganado		

Tabla 45. Clasificación de los costes producidos por las inundaciones en los usos agrarios.
Fuente: elaboración propia

La multitud de factores a considerar (tipo de cultivo, periodo del año, grado de desarrollo del cultivo, factores meteorológicos previos a la propia inundación, duración y profundidad del agua, etc.) hace muy difícil realizar valoraciones promediadas de los daños económicos de la inundación sobre los cultivos. Un análisis de detalle requeriría estudios concretos sobre las diferentes situaciones que permitieran obtener una valoración económica de los daños potenciales.

Los costes de los daños provocados en la agricultura pueden ser sustanciales si no existe una buena cobertura de seguros agrarios en la zona afectada y, además, estas pérdidas de rentas agrarias suelen caracterizarse por tener un fuerte impacto sobre la economía de las pequeñas comunidades o poblaciones rurales donde se produce la inundación.

En relación a las pérdidas ocasionadas por la inundación en la *ganadería*, éstas generalmente se suelen considerar bajas, siempre y cuando exista cierta capacidad de alerta temprana que permita desplazar el ganado hacia zonas seguras. En estos casos también es recomendable realizar un estudio individualizados de cada desastre con el objetivo de estimar este tipo de pérdidas, ya que dependiendo del tipo de ganado, de la época del año y de los precios del mercado en cada momento.

1.3. METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS

1.3.1. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS

Existen en la práctica 3 enfoques utilizados habitualmente en la estimación de pérdidas tras la ocurrencia de una inundación o en la simulación del evento para evaluar la efectividad de las medidas de mitigación. En general se puede hablar de:

- *Enfoque rápido o promediado*: está basado en la disponibilidad de datos medios existentes de las pérdidas sufridas en otros eventos similares (por ejemplo, pérdida media por propiedad inundada).
- *Enfoque sintético*: se trata de la realización de una estimación detallada y basada en la disponibilidad de bases de datos existentes que cubren una gran variedad de tipos de edificios y contenidos. Las pérdidas se estiman de forma técnica o teórica (más que a partir de la experiencia histórica), asumiendo un determinado efecto del evento.

- *Enfoque de medición o histórico*: se basa en la elaboración de un estudio o medición detallada tras un evento reciente con el fin de conocer las pérdidas reales ocasionadas por este.

Como se aprecia, estos métodos van desde las estimaciones rápidas hasta los estudios muy detallados y precisos. Es frecuente en la práctica utilizar una combinación de los tres enfoques, en función del elemento dañado o del volumen y calidad de la información disponible: por ejemplo, lo más conveniente es aplicar un enfoque histórico o de medición para estimar las pérdidas sufridas en grandes negocios, determinadas infraestructuras e intangibles. Dependiendo del tipo de elemento dañado y de las situaciones coyunturales que se puedan dar tras el desastre, en la Tabla 46 se resumen sintéticamente los métodos de estimación de pérdidas más apropiados en cada caso.

CARACTERÍSTICAS DE LA SITUACIÓN	MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS		
	PROMEDIADO O RÁPIDO	SINTÉTICO	MEDICIÓN DIRECTA O HISTÓRICO
Inundación dentro de los últimos 5 años	ADECUADO	ADECUADO	MUY ADECUADO
Necesidad de coherencia y homogeneidad en las estimaciones	MUY ADECUADO	MUY ADECUADO	ADECUADO
Estimación de pérdidas potenciales con la finalidad de un planeamiento	ADECUADO	MUY ADECUADO	NO ADECUADO
Baja disponibilidad de recursos (tiempo y fondos) para el área de estudio	MUY ADECUADO	ADECUADO	NO ADECUADO
No disponibilidad de la experiencia de especialistas o experiencia limitada	MUY ADECUADO	ADECUADO	NO ADECUADO
Áreas de gran tamaño	MUY ADECUADO	MUY ADECUADO	ADECUADO
Áreas pequeñas (<100 propiedades)	NO ADECUADO	NO ADECUADO	MUY ADECUADO
Realización de estudios en los que se puede permitir una baja precisión	MUY ADECUADO	NO ADECUADO	NO ADECUADO
Pérdidas indirectas e intangibles significativas	NO ADECUADO	ADECUADO	MUY ADECUADO
Sólo disponibilidad de datos de baja calidad	MUY ADECUADO	ADECUADO	NO ADECUADO
No disponibilidad de una base de datos existente apropiada	NO ADECUADO	NO ADECUADO	MUY ADECUADO

Tabla 46. Adecuación de los enfoques de estimación de pérdidas.
Fuente: Adaptado de Queensland Government (2002).

En aquellos casos en los que sea posible adoptar un enfoque sintético o histórico de medición de las pérdidas provocadas por una inundación, es preciso recurrir a distintas *técnicas económicas* específicas según el tipo de uso afectado y según que el coste sea directo, indirecto o intangible. En algunos casos, sobre todo en el de las pérdidas directas, las metodologías están claramente definidas y

su aplicación es relativamente factible. Algunos trabajos proponen la utilización de técnicas para estimar sobre todo pérdidas indirectas e intangibles aunque más bien a modo de ejercicios teóricos debido a la alta dificultad que entrañan los cálculos en la práctica y la gran cantidad de datos necesarios.

TIPO DE USO AFECTADO	PRINCIPIO SEGUIDO PARA LA ESTIMACIÓN
Edificios residenciales	Valor económico de la depreciación (estructuras y contenidos)
Edificios comerciales e industriales	Valor económico de la depreciación (estructuras y contenidos)
Edificios destinados a servicios públicos	Valor económico de la depreciación (estructuras y contenidos)
Infraestructuras y equipamientos	Valor económico de la depreciación / Coste de la reparación
Agricultura	Pérdida de valor añadido (valor de mercado del cultivo menos el coste de los factores productivos empleados)
Pastos	Coste de la recuperación
Ganadería	Valor de mercado del ganado

Tabla 47. Metodologías y principios utilizados para llevar a cabo la estimación de las pérdidas económicas directas que puede producir una inundación, según los distintos usos de suelo.

Fuente: elaboración propia

TIPO DE USO AFECTADO	PRINCIPIO SEGUIDO PARA LA ESTIMACIÓN
Interrupciones en los negocios	Pérdida de valor añadido de la actividad durante el periodo de afección
Interrupción de los servicios públicos	Coste de su provisión
Limpieza de edificios	Coste de los materiales y coste de oportunidad de la mano de obra empleada en esa tarea / Coste de los servicios de limpieza contratados
Alojamiento alternativo de familias	Costes adicionales del alojamiento alternativo y costes de transporte
Agricultura (daños indirectos)	Pérdida de beneficios debida al descenso de la productividad agrícola / Costes de mitigación de plagas
Interrupciones en las redes de transporte y telecomunicaciones	Valor del tiempo de los retrasos sufridos por particulares y transporte de mercancías / Incremento de los costes de desplazamiento por vehículo
Acciones de respuesta y auxilio	Coste marginal de las intervenciones / Costes de oportunidad del voluntariado

Tabla 48. Metodologías y principios utilizados para llevar a cabo la estimación de las pérdidas económicas indirectas que puede producir una inundación, según los distintos usos de suelo.

Fuente: elaboración propia

TIPO DE USO AFECTADO	PRINCIPIO SEGUIDO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA
Fallecimiento de personas	Pérdida de capital humano / Valor de la vida estadística
Lesiones de personas	Pérdida de capital humano / Valor económico de la inhabilitación
Otros efectos sobre la salud	Valor económico de la inhabilitación / Coste de los tratamientos
Patrimonio y elementos de significación para la comunidad	Método de valoración contingente
Objetos de alto valor personal, pérdida de animales de compañía	Método de valoración contingente
Repercusiones por la pérdida de la calidad ambiental del entorno	Método de los precios hedónicos

Tabla 49. Metodologías y principios utilizados para llevar a cabo la estimación de las pérdidas económicas intangibles que puede producir una inundación, según los distintos usos de suelo.

Fuente: elaboración propia

1.3.2. ELABORACIÓN DE ÍNDICES DE DAÑOS

En general, la metodología utilizada para la elaboración de índices de vulnerabilidad, también conocidos como *factores de daños*, lo que pretende es realizar una valoración de las pérdidas provocadas por las inundaciones en cada tipo de usos del suelo localizado en el territorio. Aunque existe una gran variedad de particularidades, la construcción de índices de daños atiende a un par de pautas comunes:

- Lo habitual es que para valorar la incidencia de la inundación en la construcción del índice se atiende a sólo uno o dos de los parámetros (calado o duración) que caracterizan las inundaciones.
- Las estimaciones se suelen realizar para categorías de usos muy generales y amplios (usos residenciales, industria, comercio, etc.).

CALADO (m)	INVERNA- DEROS	AGRICUL- TURA	RECREO	USO RESIDENCIAL			INDUSTRIA	CARRRE- TERAS
				TOTALIDAD	ESTRUC	CONTEN.		
0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,16	1,00	1,00	0,03	0,01	0,12	0,10	0,05
0,50	0,33			0,06	0,03	0,24	0,20	0,10
0,75	0,33			0,07	0,04	0,35	0,30	0,15
1,00	0,66			0,08	0,05	0,47	0,40	0,20
1,25	0,66			0,09	0,07	0,48	0,50	0,25
1,50	0,66			0,10	0,08	0,49	0,60	0,30
1,75	1,00			0,27	0,10	0,49	0,70	0,35
2,00				0,44	0,11	0,50	0,80	0,40
2,25				0,49	0,17	0,54	0,83	0,45
2,50				0,53	0,23	0,58	0,85	0,50
2,75				0,58	0,29	0,62	0,88	0,55
3,00				0,62	0,35	0,66	0,90	0,60
3,25				0,66	0,43	0,70	0,93	0,65
3,50				0,70	0,52	0,75	0,95	0,70
3,75				0,74	0,60	0,79	0,98	0,75
4,00				0,78	0,68	0,83	1,00	0,80
4,25	0,79	0,76	0,87	0,85				
4,50	0,79	0,84	0,92	0,90				
4,75	0,80	0,92	0,96	0,95				
5,00	0,80	1,00	1,00	1,00				
5,25	0,85			1,00				
5,50	0,90			1,00				
5,75	0,95			1,00				
6,00	1,00	1,00	1,00	1,00				

Tabla 50. Factor de daños sobre diferentes tipos de usos del suelo según HKV consultores en función del calado de la inundación.

Fuente: adaptado de Van der Sande, C. (2001)

El método es relativamente sencillo. Se trata de establecer la cuantía estimada de daño máximo por unidad de superficie en cada uso de suelo según el parámetro de la inundación considerado (por ejemplo el calado).

Para ello es necesario conocer la magnitud del parámetro de inundación considerado en la que las pérdidas de uso serían totales. Esta magnitud varía notablemente de unos usos a otros. Así por ejemplo, en el caso del calado, en unos usos, el daño total se producirá con niveles de profundidad del agua relativamente pequeños, mientras que en otros casos la altura tendrá que alcanzar varios metros para que el daño pueda considerarse total.

Una vez estimado el valor del parámetro que producirá las mayores pérdidas (pérdidas totales ó 100 %) se realizan estimaciones intermedias a medida que disminuye dicho valor. La progresión del índice también oscilará notablemente según el uso que se analice.

CALADO (M)	AGRICULTURA	PLANTAS DEPURA. DE AGUAS	CARRETERAS	EMPRESAS	USO RESIDENCIAL		CASA+ GRANJA (EST+CONT)
					ESTRUCT.	CONTENIDO	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	0,25	0,20	0,07	0,03	0,21	0,01	0,07
0,50	0,50	0,30	0,14	0,05	0,35	0,02	0,13
0,75	0,58	0,35	0,21	0,08	0,44	0,04	0,17
1,00	0,64	0,41	0,28	0,10	0,47	0,05	0,18
1,25	0,70	0,47	0,33	0,12	0,48	0,06	0,20
1,50	0,76	0,53	0,37	0,13	0,49	0,08	0,21
1,75	0,82	0,58	0,42	0,15	0,49	0,09	0,22
2,00	0,88	0,64	0,46	0,16	0,50	0,11	0,23
2,25	0,91	0,70	0,51	0,18	0,54	0,16	0,28
2,50	0,93	0,76	0,55	0,19	0,58	0,22	0,33
2,75	0,94	0,80	0,60	0,21	0,62	0,28	0,39
3,00	0,96	0,82	0,64	0,22	0,66	0,35	0,45
3,25	0,98	0,85	0,69	0,32	0,70	0,42	0,51
3,50	1,00	0,87	0,73	0,42	0,74	0,50	0,58
3,75		0,90	0,78	0,51	0,79	0,59	0,65
4,00		0,92	0,82	0,61	0,83	0,68	0,73
4,25		0,95	0,87	0,71	0,90	0,82	0,85
4,50		0,97	0,91	0,81	0,96	0,92	0,93
4,75		0,96	0,90	0,90	0,99	0,98	0,98
5,00		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5,25							
5,50							
5,75							
6,00							

Tabla 51. Factor de daños según el Ministerio holandés de transportes (rws).

Fuente: adaptado de Van der Sande, C. (2001)

Usos	CALADO (m)																
	0,00	0,15	0,25	0,30	0,50	0,60	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,10	2,25	2,50	2,75	3,00
Edificación unifamiliar	0,00	156,15	229,70	266,48	312,56	335,60	369,98	427,28	472,88	518,47	564,07	609,67	627,90	645,27	674,22	703,16	732,11
Edificación multifamiliar	0,00	147,75	210,20	241,42	295,51	322,55	353,29	404,51	441,03	477,56	514,08	550,60	565,21	576,58	595,53	614,49	633,44
Jardines privados / públicos	0,00	7,81	11,49	13,32	15,63	16,78	18,50	21,36	23,64	25,92	28,20	30,48	31,40	32,26	33,71	35,16	36,61
Árboles de zonas edificadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,33	0,49	0,65	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Césped en zonas edificadas	0,00	1,95	2,87	3,33	3,91	4,19	4,62	5,34	5,91	6,48	7,05	7,62	7,85	8,07	8,43	8,79	9,15
Espacios vacíos en zonas edificadas	0,00	0,14	0,24	0,29	0,57	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Edificios comerciales. y de servicios: Oficinas	0,00	145,87	227,55	268,39	333,75	366,43	450,45	590,49									
Edificios comercial. y de servicios: Almacenes	0,00	187,82	253,43	286,23	360,99	398,37	534,75	762,04									
Edificación agraria	0,00	1,05	1,86	2,27	11,00	15,37	16,41	18,16									
Edificios públicos	0,00	17,98	187,35	272,04	286,70	294,04	355,78	458,69									
Instalaciones deportivas y de ocio	0,00	128,42	163,83	181,53	226,90	249,58											
Fábricas	0,00	107,43	162,33	189,77	258,66	293,10	337,05	410,32									
Industria manufacturera	0,00	110,00	166,11	194,16	264,70	299,97	344,96	419,93									
Carreteras pavimentadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	3,57	5,35	7,14	7,85	8,07	8,43	8,79	9,15
Carreteras no pavimentadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,16	0,17	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,31	0,32	0,34	0,35	0,37
Ferrocarril	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	0,31	0,72	0,88	1,04	1,21	1,37	1,43	1,55	1,75	1,95	2,15
Pastos	0,00	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Trigo de invierno	0,00	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Huertos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,33	0,49	0,65	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Viveros	0,00	14,33	23,89	28,67	28,67	28,67	31,35	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83	35,83

Tabla 52. Cuantías de los daños (en euros de 1995) según tipos de usos. Flood Hazard Research Centre (FHRC, Reino Unido).

Fuente: Adaptado de Van Der Sande, C. (2001).

CALADO (m)	% DE DAÑO ESTRUCTURAL	% DE DAÑOS EN EL CONTENIDO
0	0	0
0,1	6	12
0,2	9	24
0,3	11	38
0,4	12	48
0,5	12	54
0,6	14	60
0,7	15	66
0,8	16	72
0,9	18	78
1	18	82
1,1	19	84
1,2	20	85
1,3	21	86
1,4	22	87
1,5	23	87
1,6	24	88
1,7	26	88
1,8	28	89
1,9	29	89
2	30	89
2,1	32	-
2,2	34	-
2,3	35	-
2,4	36	-
2,5	37	-
2,6	38	-
2,7	39	-
2,8	40	-
2,9	41	-
3	42	-

Tabla 53. Factor de daños en estructuras y contenidos asegurados según el Ministerio Holandés De Transportes (RWS).

Fuente: Adaptado de Queensland Government (2002)

1.3.3. LAS FUNCIONES DE DAÑOS

Directamente relacionados con el cálculo de índices se encuentran las funciones y curvas de daños. Los daños por unidad de superficie son proporcionales a la magnitud de la inundación y a la vulnerabilidad del territorio, de tal manera que puede hablarse de curvas de daños en función de la magnitud.

Las *curvas de daños* son la representación gráfica de la relación existente entre los daños o pérdidas causadas por una inundación (potenciales o reales) y la magnitud de alguno de sus parámetros. Más genéricamente, puede decirse qué funciones representan la relación entre la magnitud del riesgo natural y las pérdidas ocasionadas por este.

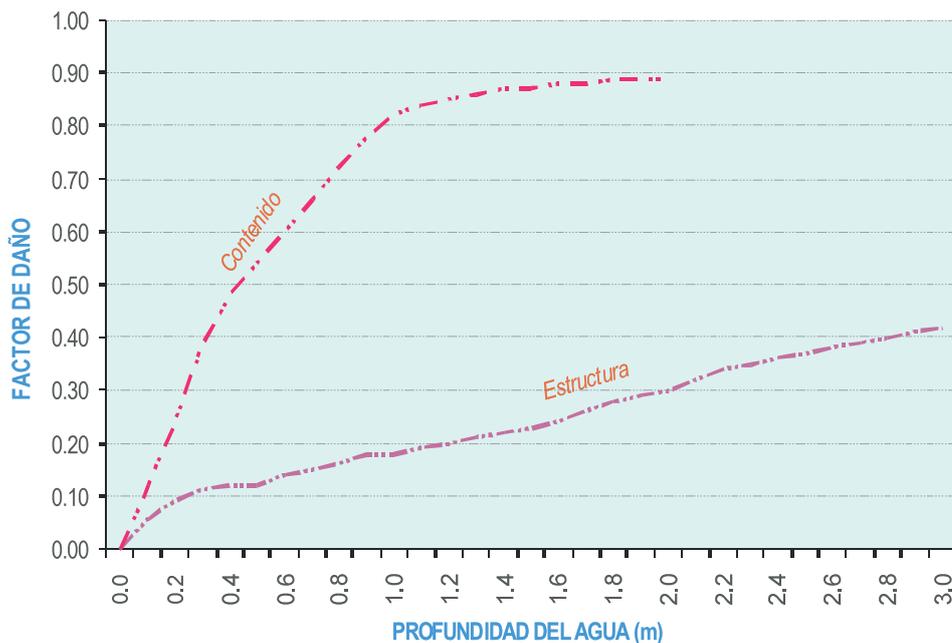


Figura 86. Curvas de daños elaboradas por el Natural Hazards Research Centre (NHRC, Australia). Fuente: Adaptado de Van der Sande, C. (2001)

Habitualmente, estas curvas son usadas para estimar los costes o pérdidas provocadas en los distintos usos del suelo. Por ejemplo, en el caso de las edificaciones residenciales y de algunas otras estructuras similares (edificaciones agrarias, comerciales, etc.), la profundidad representa la altura alcanzada por el agua en el interior del edificio.

En el caso de los usos industriales, dado que generalmente no existe un número muy elevado de ellos sobre el territorio y que además presentan una gran variedad en su tamaño, actividad, contenido, etc., algunos estudios apuntan que el uso de curvas de daños puede resultar más bien inapropiado (*Australian Government, 2001*).

Básicamente, ante una inundación, es de esperar que cuanto mayor sea la profundidad alcanzada, mayores sean las pérdidas. Como ya se ha señalado en apartados anteriores, se considera que una vez que al agua ha alcanzado los dos o tres metros dentro de un edificio, prácticamente todos los contenidos se han perdido y la estructura de la edificación puede verse amenazada. (*Queensland Government, 2002*)

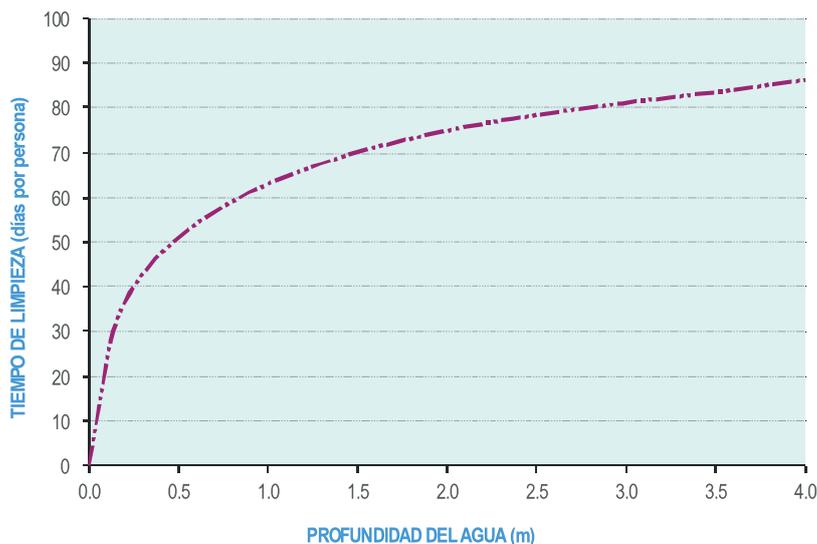


Figura 87. Curva de costes de limpieza calculados en días por persona). Fuente: Adaptado de Australian Government (2001).

Por lo general el parámetro utilizado para construir la función es el calado aunque en algunos estudios de carácter general también se pueden encontrar funciones o curvas daño-caudal. Más habitual es introducir la duración como parámetro complementario. En estos casos, es normal encontrar varias funciones de daños, para un mismo bien y para unas mismas profundidades, pero que corresponden a distintos escenarios de duración del evento. Como es sabido, la duración de la inundación es particularmente importante en las cosechas (que pueden ser destruidas por completo tras permanecer un determinado tiempo bajo el agua).

La Figura 88 representa las curvas de daños calculadas por los consultores holandeses *HKV*, con amplia experiencia en la estimación de daños por las inundaciones del río Mosa (Holanda) en 1993 y 1995.

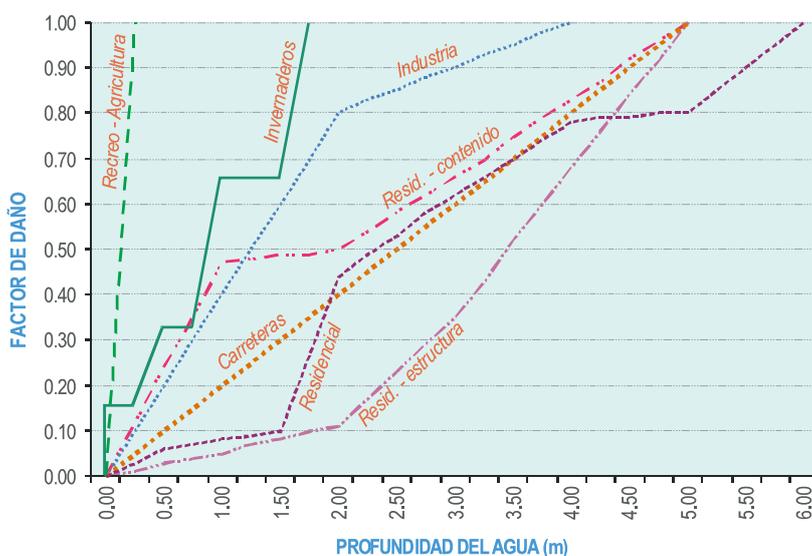


Figura 88. Curvas de daños elaboradas por HKV Consultants (Holanda). Fuente: adaptado de Van der Sande, c. (2001)

Para conocer el valor económico de cada uno de los usos del suelo que se han distinguido, los autores se han basado en el principio de los *costes de reposición* (coste de obtener un objeto idéntico al dañado). Los valores que pueden adoptar las funciones de daño oscilan entre 0 y 1, donde 1 representaría el daño máximo (equivalente al valor económico total). Los *supuestos básicos* que se asumen son:

- Las funciones de daño son una función que depende sólo de la altura o calado del agua.
- Durante la inundación, existen daños que pueden ser evitados por la población. Concretamente se asume que los campings no tendrán caravanas (porque la gente las habrá retirado después de la temporada estival) y que los coches se habrán sacado de los garajes y se habrán aparcado en una zona alta, a salvo de la inundación.
- Se usan funciones de daño medio para algunas circunstancias
- La variabilidad del daño medio por objeto o hectárea es considerable, ya que el daño es una función que depende de muchos factores físicos y de comportamiento de las personas.
- Las funciones de daño son crecientes. Se aceptan funciones de tipo escalonado.
- Se calculan los valores del daño máximo.

No obstante, para poder conocer cuáles son las *particularidades* que afectan a los cálculos y poder realizar una interpretación correcta de los resultados, se debe advertir de que:

- En el caso de los *daños a la agricultura*, se supone que éstos no dependen del nivel de altura que alcance el agua.
- Se propone también la posibilidad de considerar valores más altos en los casos en que las la zona afectada se encuentre dentro de un *área protegida*.
- Los daños provocados en áreas destinadas *al ocio o recreo* son bajos, ya que incluyen solamente costes de limpieza. Además, se supone que las inundaciones en llanuras en las que se encuentren campamentos de turismo sólo se producen en invierno, por lo que habría pocas o ninguna caravana/tienda.
- Los *daños en zonas urbanas* se calculan *por casa*, teniendo en cuenta el daño a la estructura y al contenido de la vivienda. No se computa el posible daño a los coches que puedan estar guardados en los garajes de las viviendas unifamiliares.
- En el cálculo de los *daños de las inundaciones sobre la industria*, se considera que el 75 % del daño se produce a la propiedad y el 25 % restante son pérdidas productivas. Se estima el daño causado

por hectárea de suelo industrial (no por empleado o por empresa, como también es habitual).

- Para el caso de las *infraestructuras*, se calcula el daño por unidad de longitud (no de superficie), básicamente por kilómetros inundados.

El Ministerio Holandés de Transportes comenzó en 1999 un programa de investigación relacionado con la estimación del riesgo de inundaciones. Parte de este programa tenía como objetivo el desarrollo de métodos estándar para la estimación de los daños económicos y del número de víctimas que podría causar una inundación severa, y para ello se construyeron funciones de daños que aportasen estimaciones del daño causado por la inundación en función del tipo de uso del suelo. Las curvas estimadas son las que se representan en la Figura 89.

Por su parte, el *Flood Hazards Research Centre* del Reino Unido también ha elaborado curvas de daños, en función de los datos de que dispone en relación a inundaciones acontecidas en este país. Los resultados se muestran en la Figura 90.

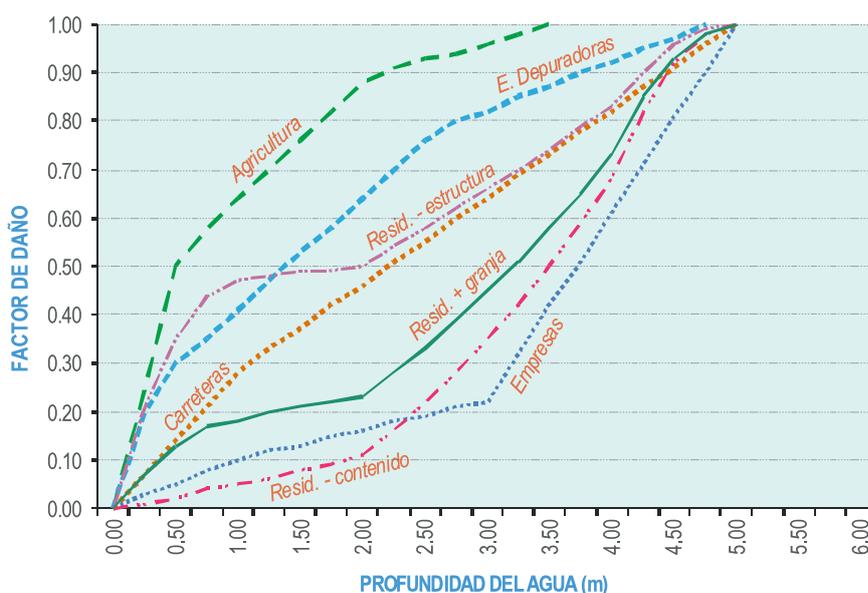


Figura 89. Curvas de daños elaboradas por el Ministerio Holandés de Transportes.
Fuente: Adaptado de Van der Sande, C. (2001)

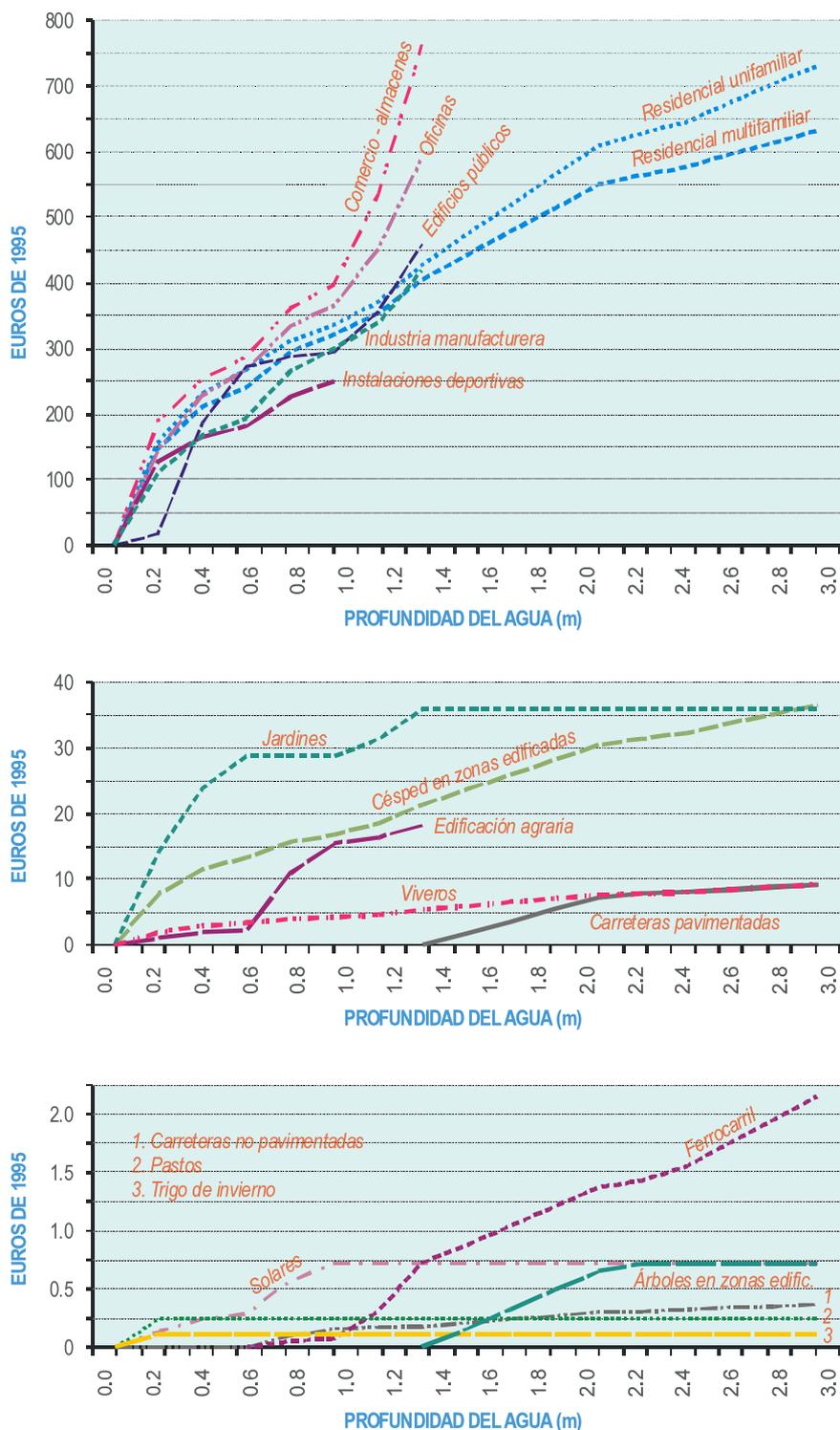


Figura 90. Curvas de daños elaboradas por el Flood Hazards Research Centre (FHRC, Reino Unido). Fuente: Adaptado de Van der Sande (2001)

1.4.1. COMUNIDAD VALENCIANA

Tal y como se indica en su memoria, el *Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana* (PATRICOVA), es uno de los instrumentos de ordenación del territorio previsto en la Ley 6/1989 de Ordenación del Territorio de la Comunidad Valenciana.

El objetivo del PATRICOVA, aprobado definitivamente por el Consell de la Generalitat en enero de 2003, era dotar a la Comunidad Valenciana de un instrumento de ordenación, coordinación y protección territorial, dirigido a prevenir los riesgos de inundación a través de una serie de iniciativas para reducir los efectos socioeconómicos y urbanísticos-territoriales derivados del riesgo de inundación. Dos son los antecedentes directos del PATRICOVA²⁴:

- La Delimitación del riesgo de inundación a escala regional en la Comunidad Valenciana (1995-1997).
- El Avance del Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (1999).

El enfoque de estos dos trabajos previos determinó, en buena medida, los contenidos y la capacidad de análisis del PATRICOVA. Así, la cartografía de peligrosidad de inundación disponible desde finales de 1997 fue realizada a escala 1:50.000, adecuada para un análisis de ámbito regional.

La metodología empleada en la elaboración del PATRICOVA consiste en delimitar el riesgo de inundación, obtener el impacto actual y futuro producido por las inundaciones (por cruce del mapa de riesgo con los usos actuales y previstos) y, finalmente, desarrollar un programa de actuaciones para disminuir el riesgo hasta niveles aceptables (se asume la imposibilidad de eliminarlo totalmente por razones geomorfológicas, socioeconómicas y de consolidación de asentamientos en zona de riesgo). En su acepción más general, el PATRICOVA se ha concebido según un esquema que persigue la máxima reducción posible en ese impacto con la ejecución de un programa de medidas de actuación propuesto con el suficiente detalle y razonablemente justificado.

²⁴ Ambos documentos fueron elaborados por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia por encargo de de la Direcció General d'Urbanisme i Ordenació Territorial.

Según este Plan, el impacto de una inundación es el resultante de la combinación, en el espacio, de dos factores fundamentales: el riesgo y la vulnerabilidad. El riesgo está asociado a las características propias de la inundación, y con su medida se trata de estimar la frecuencia y la magnitud (que principalmente, contempla la altura alcanzada por las aguas); por otro lado, la vulnerabilidad está asociada al territorio en sí mismo, y se relaciona con la magnitud de los daños económicos y no económicos que se pueden producir con el desastre según los usos a los que esté destinado el suelo.

1.4.1.a. Estimación de la peligrosidad

Las variables utilizadas para la determinación del riesgo proceden del estudio realizado en 1997 y con ellas se pretende estimar la frecuencia y la magnitud con que se produce la inundación. Así se diferenció la frecuencia en tres periodos:

- ALTA, que se corresponde con zonas sometidas a inundaciones con periodo de retorno inferior a 25 años (probabilidad anual del 4 %).
- MEDIA, para periodos de retorno entre 25 y 100 años (probabilidades anuales entre el 1 y el 4 %).
- BAJA, para periodos de retorno de 100 a 500 años (probabilidades anuales entre el 0,2 y el 1 %).

El calado fue la variable adoptada como representativa de la magnitud de la avenida, puesto que se consideraba que es el factor más importante y de más sencilla estimación (se señala que existe cierto grado de correlación entre el calado y otros factores de interés, como la velocidad o el volumen de acarrees). Dos son los niveles adoptados para la discretización del calado:

- BAJOS, cuando el nivel general esperado en la zona es inferior a 80 cm. Se considera que conlleva pérdidas de menor cuantía y que las medidas a adoptar son más sencillas.
- ALTOS, para calados por encima de 80 cm. Suponen daños de gran importancia.

El resultado de la aplicación de estos criterios es la consideración de seis umbrales de riesgo por combinación de los niveles de frecuencia y los calados tal y como se muestra el cuadro siguiente.

NIVELES DE CALADO	NIVELES DE FRECUENCIA		
	BAJA 100-500 AÑOS	MEDIA 25-100 AÑOS	ALTA <25 AÑOS
BAJO (<80 cm)	6 BAJO	4 MEDIO	3 MEDIO
ALTO (>80 cm)	5 BAJO	2 ALTO	1 ALTO

Tabla 54. Zonificación del Riesgo del PATRICOVA.
Fuente: Adaptado de PATRICOVA (2002)

1.4.1.b. Determinación de la vulnerabilidad

El otro conjunto de variables consideradas en el plan son las relacionadas con el impacto y la vulnerabilidad del territorio. Mientras el estudio de 1997 se centró en la en la peligrosidad, el concepto principal sobre el que se fundamenta el PATRICOVA es el de la cuantificación del impacto territorial provocado por los fenómenos de inundación. El plan define vulnerabilidad de un territorio como *“aquella variable que cuantifica el valor de los daños producidos por una inundación de magnitud dada”*, siendo el parámetro de mayor importancia en la determinación de la vulnerabilidad frente a una inundación el nivel (o calado) máximo alcanzado por las aguas, de forma que, para cualquier uso del suelo, se podría determinar una curva teórica para el porcentaje de daño sobre el valor total en función de ese calado.

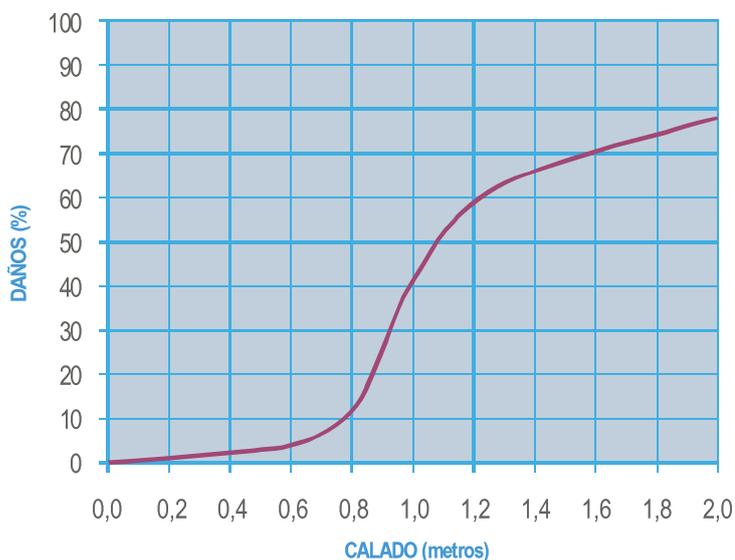


Figura 91. Evolución del porcentaje de daños en función del calado máximo para un uso genérico.

Fuente: Adaptado de PATRICOVA (2002)

Además la vulnerabilidad, o cuantificación de los daños, se ha desglosado en daños directos (fácilmente cuantificables económicamente), daños indirectos (difícilmente cuantificables) y daños intangibles (no cuantificables).

Para el cálculo de la vulnerabilidad de los daños directos se ha utilizado una metodología que tiene en cuenta el tipo y densidad del uso del suelo en el área afectada por la inundación para estimar las posibles pérdidas, en unidades monetarias, conforme al valor de mercado aplicable al coste unitario del suelo destinado a cada uno de los usos. Sin embargo, para facilitar su comparación en términos más homogéneos, se prefirió adimensionalizar dicho valor en un rango de variación de 0 a 100 (con el valor máximo de 100 para los 82 euros/m² calculadas para el caso del uso residencial de muy alta densidad), dando como resultado final la tabla de valoración de esta vulnerabilidad que refleja la Tabla 55. Con criterios similares, aunque de una forma mucho más simplificada, se ha obtenido la relación de vulnerabilidades por daños directos sobre los usos planificados.

USO	MAGNITUD (CALADO)		DAÑO MONETARIO MÁXIMO EUROS/M ²
	ALTA (>80 cm)	BAJA (<80 cm)	
Residencial general	68,70	22,90	56,33
Residencial baja densidad	68,70	22,90	56,33
Residencial media densidad	56,30	18,80	46,16
Residencial alta densidad	75,00	25,00	61,50
Residencial muy alta densidad	100,00	33,30	82,00
Acampada-caravanas, prefabricados	68,70	22,90	56,33
Comercial en residencial	51,8*C	17,3*C	42,47
Industrial, almacenes, talleres	16,90	5,60	13,86
Industrial, almacenes, talleres baja densidad	16,90	5,60	13,86
Industrial, almacenes, talleres alta densidad	23,70	7,90	19,43
Equipamientos, servicios e infraestructuras	51,80	17,30	42,47
Terciario	51,80	17,30	42,47
Mixto	51,80	17,30	42,47
Otros y sin definir	0,00	0,00	0,00
Regadío hortícolas	0,89		0,73
Regadío cereales	0,34		0,28
Regadío arrozal	0,34		0,28
Regadío frutales	0,56		0,46
Regadío cítricos	0,83		0,68
Regadío otros y sin definir	0,34		0,28
Secano herbáceos	0,34		0,28
Secano viña	0,56		0,46
Secano olivo	0,56		0,46
Secano frutales	0,56		0,46
Secano otros	0,34		0,28
Saltus, autovías y autopistas	0,00		0,00

Tabla 55. Vulnerabilidad por daños directos según los distintos usos del suelo.

(C = coeficiente municipal para la ponderación del uso comercial disperso.

Fuente: Adaptado del PATRICOVA).

La vulnerabilidad derivada del resto de los tipos de daños (indirectos e intangibles) se considera única y se evalúa aplicando un coeficiente sobre los

directos, a partir de un conjunto de variables socioeconómicas²⁵. Este coeficiente municipal de daños indirectos ha sido estimado con imposición de un rango de variación entre 1 y 1,55, dado que en la mayoría de las experiencias consultadas para la realización del plan este tipo de daños alcanzan cifras máximas en torno al 55%, adicional, sobre la estimación de daños directos.

1.4.1.c. Estimación del impacto

El impacto territorial se calcula como producto del riesgo (frecuencia y magnitud) por la vulnerabilidad (daños producibles). En un área concreta se obtendría como suma integrada continua del impacto existente en todos los puntos abarcados. Para simplificar el cálculo se maneja una unidad espacial denominada *polígono elemental* definida como el área en la que permanecen constantes todas las variables involucradas.

En consecuencia los *polígonos elementales* resultan de la intersección espacial de los siguientes variables:

- Zonas de inundación, que establecen el valor de frecuencia.
- Subzonas de riesgo en cada zona de inundación, que fijan el valor de la magnitud: calado.
- Términos municipales, que marcan el coeficiente de uso comercial disperso.
- Usos del suelo, que definen el término de vulnerabilidad.

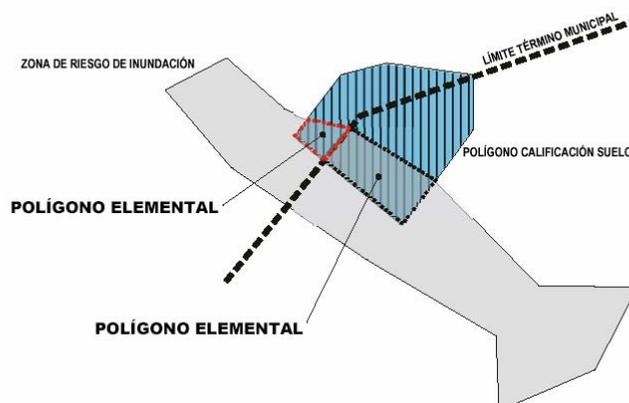


Figura 92. Definición de polígonos elementales.
Fuente: PATRICOVA

²⁵ Estas variables son: Población total del término municipal; Porcentaje de superficie afectada por la inundación; Densidad de población; Número de entidades de población; Valor y composición del parque de viviendas (estimado a partir del número total de viviendas del municipio); Entidad de los sectores productivos localizados (a través del empleo total en el municipio); y Porcentaje de población activa ligada a la agricultura.

De este modo, y de acuerdo con la definición adoptada para el impacto, éste ha sido calculado de acuerdo con la siguiente formulación general:

$$I = F(V_1 + C \times V_2)K_I \quad ; \text{ para el uso residencial.}$$

$$I = F \times V_1 \times K_I \quad ; \text{ para el resto de los usos.}$$

Donde:

I : impacto.

F : factor de frecuencia de la inundación.

K_I : coeficiente de daños indirectos.

V₁ : vulnerabilidad en uso residencial.

V₂ : vulnerabilidad en uso comercial disperso.

C : coeficiente de impacto comercial.

Para el factor de frecuencia se adoptaron los siguientes valores:

- T 0-25 años: 0,04
- T 25-100: 0,016
- T 100-500: 0,003

Tras el cálculo se obtiene el valor del impacto actual de las inundaciones en cada polígono elemental expresado en unidades de impacto (adimensionales) y mediante la suma de los valores de dichos polígonos, se puede deducir el impacto por zonas de inundación, por municipios, por provincias o para toda la Comunidad Autónoma.

1.4.2. PAÍS VASCO

El Plan Especial de Emergencias ante el Riesgo de Inundaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco (BOPV núm. 153, de 12 de agosto de 1999) se desarrolla de acuerdo con la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. Para su realización se emplearon un conjunto de estudios y análisis previos sobre diferentes temas.

En el punto 1.6. se incluye un glosario de términos de los que, desde el aspecto que nos ocupa en este apartado, cabe destacar los siguientes:

- *Peligrosidad (P)*: probabilidad de ocurrencia dentro de un período determinado y en un área específica de una inundación y/o avenida perjudicial. Por tanto expresa la inundabilidad de una zona.
- *Periodo de Retorno (T)*: tiempo que tarda en reproducirse una avenida, una precipitación extrema o una inundación de una magnitud dada. Se define también como el inverso de la Probabilidad de Ocurrencia.

- *Probabilidad de Ocurrencia*: probabilidad de que en un año se reproduzca una avenida de una magnitud dada. Para las avenidas potencialmente perjudiciales la Probabilidad de Ocurrencia coincide con la Peligrosidad.
- *Elementos en riesgo (E)*: son la población, núcleos de población, viviendas, instalaciones industriales y comerciales, servicios básicos, etc. damnificados por una inundación.
- *Vulnerabilidad (V)*: grado de pérdida provocado por la ocurrencia de una inundación de un T dado, causado en un elemento o conjunto de elementos en riesgo. Se expresa en una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total).
- *Riesgo específico (RS)*: grado de pérdida esperado debido a una inundación. Se expresa como el producto de P por V.
- *Riesgo total*: resultado del producto del riesgo específico (RS) por los elementos en riesgo (E).

El ámbito territorial de Plan se expresa cartográficamente en el denominado *Mapa Director 1/150.000 del Riesgo de Inundaciones de la CAPV* que además representa, sobre una base topográfica simplificada, la red hidrográfica, los puntos de la red de control foronómica y/o meteorológica, y los puntos negros históricos de inundación.

1.4.2.a. Delimitación de las zonas inundables

La información del territorio sobre la que se fundamenta el análisis de los riesgos potenciales de las inundaciones es: geomorfología, factores hidrológicos y climáticos, cubierta forestal, elementos físicos y estructurales, aspectos urbanísticos y demográficos, zonas y puntos inundables de recurrencia histórica, así como las áreas de inundación calculadas para los T de 10, 100 y 500 años (10, 100 y 1.000 años para los ríos Deba, Urola y Oiartzun).

Esta información territorial se expresa cartográficamente en el *Mapa 1:25.000 de las Zonas de Inundación Potencial*, elaborado por cuencas hidrográficas. Para definir la magnitud de las inundaciones y consecuentemente las zonas expuestas a las mismas, el Plan emplea dos métodos distintos y complementarios: análisis de inundaciones históricas y análisis hidrometeorológico de cuencas.

En el primero se delimitan las áreas más frecuentemente castigadas por las inundaciones o con mayor intensidad, estableciéndose las causas principales que las produjeron, los daños principales y su magnitud relativa. La información referida a inundaciones históricas se refleja en el Mapa Director 1:150.000. El estudio consiste en una recopilación de las inundaciones ocurridas en el País Vasco en el último medio milenio (aprovechando un documento previo de la Comisión Técnica de Inundaciones, de diciembre de 1985, denominado Estudio

de Inundaciones Históricas; Mapa de Riesgos Potenciales; Cuenca Norte) y los puntos y lugares de los cauces que han resultado más conflictivos en las inundaciones ocurridas en agosto del 1983 (extraídos del Estudio básico de la avenida de agosto de 1983 y de los puntos negros de las cuencas afectadas en el País Vasco de la Dirección General de Obras Hidráulicas)

El análisis hidrometeorológico de cuencas se basa en una modelización de cuenca, a partir de los cálculos de caudales máximos de avenida para determinados periodos de retorno y en cada uno de sus perfiles transversales establecidos, en la que se determinan los niveles de inundación alcanzados por periodo de retorno. Gran parte de esta información ha sido extraída del “Estudio Hidráulico de los ríos autonómicos de Guipúzcoa” y del “Plan Integral de Prevención de Inundaciones” estudios en los que se definen las líneas de inundación para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100, 500 y 1000 años, por aplicación del modelo HEC (Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers). En las cuencas con relevancia territorial no incluidas en ninguno de los dos estudios hidráulicos anteriores se han considerado, como zonas de inundación potencial, la ocupada por las llanuras geomorfológicas de inundación (obtenida de la Síntesis Geológica de la Comunidad Autónoma del País Vasco, EVE, de 1992) salvo casos muy puntuales, que presentan un índice de vulnerabilidad muy bajo, dado su escaso nivel de ocupación.

1.4.2.b. Delimitación de las zonas inundables en función del riesgo

A partir de la información del *Mapa de Zonas de Inundación Potencial*, se elabora el *Mapa de Riesgos de Inundación* también a escala 1:25.000. La evaluación de las consecuencias de una hipotética inundación se realiza mediante la valoración de los elementos vulnerables (afecciones y daños esperados) existentes en las zonas potencialmente inundables, y, por tanto, por la ocurrencia de la inundación. El resultado es una zonificación del riesgo, similar a la propuesta por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, en la que se establecen las siguientes zonas:

- *Zonas A-1, riesgo alto frecuente*, en las que las avenidas de 10 años de T producirán graves daños a núcleos urbanos.
- *Zonas A-2, riesgo alto ocasional*, en las que las avenidas de 100 años producirán graves daños a núcleos urbanos.
- *Zonas A-3, riesgo alto excepcional*, en las que las avenidas de 500 años producirán graves daños en núcleos urbanos.
- *Zonas B, riesgo significativo*, no coincidentes con las zonas A, en las que la avenida de T=100 años pueden producir daños en zonas aisladas, y las avenidas de período de retorno igual o superior a los cien años, daños significativos a instalaciones comerciales, industriales o de servicios.

- Zonas C, *riesgo bajo*, no coincidentes con las A ni con las B, en las que la avenida de 500 años puede producir impactos a viviendas aisladas o daños pequeños a instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos.

Tal y como señala el Plan, en la delimitación de cada una de estas zonas se ha valorado la vulnerabilidad de los núcleos urbanos, comerciales e industriales, los servicios básicos y los puntos aislados potencialmente inundables.

Las zonas de riesgo según esta clasificación establecida, se han obtenido mediante la intersección de las manchas de inundación, reflejadas en el *Mapa de Zonas de Inundación Potencial*, en primer lugar, con las zonas urbanas o urbanizables edificadas o de próxima edificación según el planeamiento urbanístico vigente, y posteriormente con los usos de esas zonas, residencial o industrial y sus características (edificación alta o baja, dispersa o agrupada, etc.).

1.4.3. CATALUÑA

El Plan Especial de Emergencias por Inundaciones, conocido como INUNCAT, fue redactado por la Comisión de Protección Civil de Cataluña en marzo de 1997. La valoración técnica de las inundaciones del INUNCAT'97 tiene su antecedente en los estudios desarrollados durante el año 1983 en los que se efectuaron análisis regionales a escala nacional tras las lluvias de 1982 y, partiendo de estudios históricos, se propuso una zonificación del riesgo. Aparecieron entonces, por primera vez, las matrices de impacto en la evaluación del riesgo de inundaciones.

1.4.3.a. Clasificación de las zonas inundables por la frecuencia

El plan de 1997 diferenciaba, atendiendo al periodo de retorno, cinco zonas de peligrosidad de inundación:

- *Zonas de inundación ordinaria*: inundables con un periodo de retorno inferior o igual a cinco años.
- *Zonas de inundación frecuente*: inundables con un periodo de retorno comprendido entre los cinco y los cincuenta años.
- *Zonas de inundación ocasional*: inundables con un periodo de retorno comprendido entre los cincuenta y los cien años.
- *Zonas de inundación excepcional*: inundables con un periodo de retorno comprendido entre los cien y los quinientos años.
- *Zonas de inundación histórica*: inundables con un periodo de retorno superior a los quinientos años.

En fase posterior se está desarrollando un estudio específico denominado “*Delimitación de zonas inundables para la redacción del INUNCAT*” cuyo objetivo principal es la definición de las zonas inundables asociadas a períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, de tal modo que permitan a posteriori un análisis de riesgos ante el peligro de avenidas, así como la homologación nacional del plan.

La metodología empleada en el citado estudio para caracterizar las inundaciones ha seguido tres líneas de trabajo orientadas a obtener las siguientes informaciones:

- Delimitación de las zonas inundables con períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, es decir, aquellas que en su situación actual pueden inundarse con las frecuencias citadas.
- Delimitación de zonas potencialmente inundables, entendiendo por tales aquellas que históricamente han sufrido alguna inundación.
- Identificación de puntos críticos de inundación relacionados con actividades humanas.

A partir de esas tres líneas de trabajo se han desarrollado en cuatro estudios diferenciados:

- Estudio hidrológico para la determinación de los caudales de avenida.
- Estudio hidráulico de delimitación a escala 1:50.000 de las áreas inundables de la red hidrológica.
- Estudio geomorfológico de zonas potencialmente inundables.
- Estudio de puntos críticos conocidos.

1.4.3.b. Vulnerabilidad

El INUNCAT’97 define la vulnerabilidad como el grado de probabilidad de pérdida de un elemento en riesgo determinado, expresado en términos de valoración del daño provocado a consecuencia de una inundación. Este concepto de vulnerabilidad es bastante similar al propuesto por la Directriz Básica aunque no incluye la referencia a los valores. Además se dice que el estudio de vulnerabilidad deberán tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Daños a las personas.
- Daños a los núcleos de población y residencias aisladas.
- Daños a las vías de comunicación y al resto de infraestructuras.
- Daños a los servicios básicos a la población.
- Daños a las instalaciones comerciales e industriales y a los monumentos artísticos.
- Daños agrícolas y ganaderos.

Por tanto, el INUNCAT'97 aplica un concepto complejo de vulnerabilidad aunque en este caso parece que lo que se propone es una clasificación de los usos del suelo y la edificación en las seis categorías que denomina factores. Así mismo, se recomienda que en la estimación de la vulnerabilidad se tengan en cuenta, en la medida de lo posible, las magnitudes hidráulicas que definen el comportamiento de las avenidas, en especial: altura de la lámina de agua, velocidad, caudal sólido asociado y duración.

1.4.3.c. Clasificación de las zonas inundables en función del riesgo

La clasificación de las zonas inundables en función del riesgo utiliza las denominaciones de la Directriz Básica. Así se diferencian las seis zonas que a continuación se describen:

- *Zonas A, de alto riesgo*: zonas en las que las inundaciones pueden producir daños a núcleos de población, grandes instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos para la población, vías de comunicación, ganadería y al medio. Dentro de estas se diferencian:
 - *Subzonas A-1, riesgo alto ordinario*: en las que el periodo de retorno es igual o inferior a cinco años.
 - *Subzonas A-2, riesgo alto frecuente*: en las que el periodo de retorno está comprendido entre los cinco y los cincuenta años.
 - *Subzonas A-3, riesgo alto ocasional*: en las que el periodo de retorno está comprendido entre los cincuenta y los cien años.
 - *Subzonas A-4, riesgo alto excepcional*: en las que el periodo de retorno es superior a los cien años, incluyendo las zonas de inundación excepcional y las de inundación máxima.
- *Zonas B, de riesgo medio*: zonas no coincidentes con las zonas A, en las que las inundaciones pueden producir daños importantes a residencias aisladas y daños significativos a instalaciones comerciales, industriales, agrícolas o afección a algunos servicios básicos para la población, al medio o a vías de comunicación.
- *Zonas C, de riesgo bajo*: zonas no coincidentes con las zonas A ni B, en las que las inundaciones pueden producir pequeños daños a residencias aisladas, instalaciones comerciales, industriales o agrícolas y a algunos servicios básicos para la población.

1.4.3.d. Valoración del impacto y del riesgo potencial

La determinación del impacto se realiza en el INUNCAT'97 a partir de una matriz, en la que se tiene en cuenta el uso afectado y la gravedad potencial de los daños sobre el mismo. Por tanto, los valores de la matriz de impacto se calculan conforme a la siguiente expresión:

$$\text{Valor del impacto} = \text{Tipo de daños} \times \text{Gravedad de los daños}$$

El sistema utilizado ha sido tomado del *Estudio de las acciones para prevenir y reducir los daños ocasionados por inundaciones* (Cuenca del Pirineo Oriental y cuenca hidrográfica del Ebro) de 1983, elaborado por la Dirección General de Obras Hidráulicas del entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.

Así los tipos de daños se clasifican en nueve categorías a las que se les asigna un valor de ponderación. Estas categorías y los valores asignados son:

- Pérdida de vidas humanas 8
- Afección a vías de comunicación 4
- Infraestructuras urbanas y residenciales 4
- Infraestructuras energéticas 2
- Infraestructuras agrícolas 2
- Infraestructuras de telecomunicaciones 2
- Infraestructuras turísticas 2
- Canalizaciones, defensas, presas, etc 2
- Industrial 1
- Agricultura y ganadería 1

Se señala que, en determinados casos las afecciones a algunos tipos de industrias, por ejemplo las químicas, pueden generar situaciones de alto riesgo, por lo que los valores de la matriz de impacto deberían ser asimilables a los de la categoría de pérdida de vidas humanas dado que dicha afección puede causar un *efecto dominó*.

Por lo que se refiere a la gravedad de los daños el INUNCAT'97 diferencia tres tipos a los que también se les asignan sus respectivos valores de ponderación:

- *Gravedad I, de riesgo alto*: zonas en las que las inundaciones pueden producir daños a núcleos de población, grandes instalaciones comerciales, industriales o servicios básicos para la población, vías de comunicación, ganadería y al medio. 4

- *Gravedad II, de riesgo medio*: zonas en las que las inundaciones pueden producir daños a pequeños núcleos residenciales (de entre 2 y 5 residencias), pequeñas instalaciones comerciales, industriales, agrícolas o afección a algunos servicios básicos para la población.....2
- *Gravedad III, de riesgo bajo*: zonas en las que las inundaciones pueden producir daños a residencias, instalaciones comerciales, industriales o agrícolas y a algunos servicios básicos para la población aislados1

En realidad, este concepto de gravedad es, en cierta medida, asimilable al de exposición del tipo de daño antes ponderado. El resultado de la combinación de estos dos factores puede observarse en la tabla siguiente.

TIPOS DE DAÑOS	GRAVEDAD		
	I	II	III
Pérdida de vidas humanas	32	16	8
Afección a vías de comunicación	16	8	4
Infraestructuras urbanas y residenciales	16	8	4
Infraestructuras energéticas	8	4	2
Infraestructuras agrícolas	8	4	2
Infraestructuras de telecomunicaciones	8	4	2
Infraestructuras turísticas	8	4	2
Canalizaciones, defensas, presas, etc	8	4	2
Industrial	4	2	1
Agricultura y ganadería	4	2	1

Tabla 56. Matriz de impacto del INUNCAT'97.

Seguidamente, al valor de la matriz de impacto se aplica un coeficiente que pondera la probabilidad de ocurrencia de la inundación. Estos coeficientes para cada periodo de retorno son:

- T <50, frecuente 1,5
- >50 T <100, normal 1,0
- T >100, extraordinaria 0,5
- Accidente de presa 0,2

Finalmente, a partir del valor final calculado (*Valor de impacto x Coeficiente de probabilidad*) de cada una de las zonas se clasifican cada una de las zonas en función del mayor menor riesgo potencial. La clasificación final adoptada tiene tres niveles:

- Riesgo potencial alto:..... con valores de impacto > 80

- Riesgo potencial medio:valores de impacto entre 80 y 40
- Riesgo potencial bajo:..... con valores de impacto < 40

1.4.4. EL LIBRO BLANCO DEL AGUA EN ESPAÑA

El Libro Blanco del Agua en España (Ministerio de Medio Ambiente, 2000), dedica dentro de Capítulo tercero el apartado 3.12 al análisis de las avenidas e inundaciones (págs. 465-488). En dicho punto se aportan una serie de criterios técnicos que consideramos interesantes a la hora de analizar la vulnerabilidad y que a continuación recogemos de forma muy esquemática:

- En los mapas de riesgo debe representarse como mínimo la crecida de periodo de retorno de 100 años, y sería conveniente la de retorno de 500 años.
- Los parámetros que definen la gravedad de una inundación son el nivel alcanzado por el agua (calado), su velocidad, la duración de la inundación y el tiempo de respuesta.
- El nivel del agua marca la gravedad de los daños materiales:
 - Un nivel superior a 0,8-1 m suele implicar daños totales.
 - Un nivel inferior a 0,3-0,4 m supone unos daños muy reducidos.
- De acuerdo con los calados y los periodos de retorno se podrían distinguir las siguientes zonas de riesgo:
 - *Zonas de riesgo bajo*: Son aquéllas donde cabe esperar inundaciones de calado reducido (menor de 0,4 m) con periodo de retorno superior a 25 años.
 - *Zonas de riesgo medio*: Aquéllas con calado intermedio (entre 0,4 y 0,8 m) y periodo de retorno superior a 100 años, o con calado reducido y retorno inferior a 25 años.
 - *Zonas de riesgo alto*: Aquéllas con calado intermedio o alto y periodo de retorno inferior a 100 años.

NIVELES DE CALADO	NIVELES DE FRECUENCIA		
	BAJA 100-500 AÑOS	MEDIA 25-100 AÑOS	ALTA <25 AÑOS
REDUCIDO (<40 cm)	BAJO	BAJO	MEDIO
INTERMEDIO (40-80 cm)	MEDIO	ALTO	ALTO
ALTO (>80 cm)	ALTO	ALTO	ALTO

Tabla 57. Zonificación del Riesgo del Libro Blanco del Agua en España.
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2000)

- La velocidad es un buen indicador de los daños, tanto materiales (sobre todo en cultivos) como humanos. Una velocidad superior a 1 m/s significa un riesgo alto. Por ello *es aconsejable añadir a la definición de zona de riesgo alto, la condición de que la velocidad sea superior a 1 m/s, sea cual sea el calado esperado.*
- La combinación crítica de niveles y velocidades da lugar al concepto de peligrosidad de la inundación, para el que cabe distinguir tres niveles:
 - *No peligrosidad*, si la altura de inundación es menor de 1 m, y el producto de altura (m) por velocidad (m/s) es menor de 0,7.
 - *Peligrosidad media, o peligro para las vidas humanas*, si la altura de inundación es mayor de 1 m, o el producto de altura (m) por velocidad (m/s) es mayor de 0,7.
 - *Peligrosidad alta, o peligro para los edificios y estructuras*, si la altura de inundación es mayor de 3,6 m, o el producto de altura (m) por velocidad (m/s) es mayor de 6.
- La duración de la inundación en España es una magnitud de importancia fundamentalmente en los daños agrícolas y en la interrupción de las vías de comunicación, ya que, en general, las inundaciones son de corta duración. Dada la dificultad práctica para su cuantificación formal no parece imprescindible la inclusión de este factor en los mapas de riesgo.
- El tiempo de respuesta de una cuenca no es una variable representable en los mapas de riesgo, pero determina fuertemente el riesgo para vidas humanas. Para determinar la incidencia del tiempo de respuesta se pueden tener en cuenta las siguientes consideraciones:
 - Se puede aproximar por el tiempo de concentración de la cuenca: cuanto mayor sea el caudal esperable y menor el tiempo de respuesta, más probables son las víctimas por el efecto sorpresa.
 - Dado que se precisan al menos dos o tres horas desde que empieza a registrarse una lluvia torrencial hasta que se puede alertar a la población y movilizar los servicios de protección civil, las cuencas con tiempo de respuesta inferior han de basar su protección exclusivamente en medios pasivos.

- Con tiempos de respuesta superiores a un día el riesgo de víctimas es mucho menor y los daños suelen ser básicamente materiales.
- Deberá incorporarse al análisis información relativa a los usos del suelo o la zonificación urbanística aprobada para lo que se recomienda:
 - La elaboración de curvas que relacionen los daños con la altura de inundación para los diferentes tipos de uso de suelo.
 - Su combinación con los mapas de riesgo pueden complementar el análisis al proporcionar una idea aproximada de los daños materiales directos.
 - Deberá incorporarse un inventario clasificado de puntos singulares como equipamientos, especificando su vida útil remanente, y una evaluación sistemática del comportamiento de las obras de desagüe, badenes y tramos inundables, con objeto de la incorporación al mapa de riesgo de los puntos negros
- La ponderación de los daños económicos potenciales con la probabilidad de su ocurrencia permite obtener los daños anuales esperados, o daños medios y, en escala logarítmica, los caudales, daños, daños incrementales esperados (DIE), y costes del riesgo de inundación (CRI) para los distintos periodos de retorno considerados
- En cuanto a las actuaciones posibles en los planes de defensa, su propia variedad y la diferente escala de los problemas hacen recomendable una organización de tipo sectorial, mediante programas horizontales que agrupen medidas de la misma índole. Estos programas podrían estructurarse de la forma siguiente:
 - Reforestación, para la reducción de caudales sólidos.
 - Sistemas de previsión y alerta.
 - Actuaciones estructurales, que podrían englobar los subprogramas de presas de laminación, encauzamientos y actuaciones fluviales, y seguridad y vigilancia de presas.
 - Medidas urbanísticas, entre las que debería contemplarse la adecuación de la legislación urbanística para considerar el riesgo de inundación en el trámite urbanístico, la elaboración de normas urbanísticas de protección contra inundaciones y la adaptación a la inundabilidad de los planes urbanísticos ya aprobados.

- Actuaciones sobre la red vial, con el doble objetivo de salvar vidas humanas y reducir los daños por interrupción del servicio, e incluyendo la supresión de puntos negros y la señalización y balizamiento de badenes y tramos inundables.
 - Programa de seguros, orientado a la protección de bienes agrícolas.
 - Plan de adquisición y renaturalización de áreas ribereñas.
- Por último, se hace una propuesta de régimen de usos del suelo para zonas de nuevo planeamiento que deban desarrollarse en áreas inundables. Dicha propuesta se recoge en la tabla siguiente.

USOS		ZONA DE RIESGO			CLAVES
		ALTO	MEDIO	BAJO	
Agrícola		SI(1)	SI	SI	(1) Restricciones en las instalaciones permisibles para uso de la explotación agrícola. (2) Restricción en el número de cabezas de ganado. (3) Sólo se admitirá si todo el término municipal es de riesgo alto, el tiempo de respuesta es mayor de 3 horas y está operativo el SAIH, condicionado a la adopción de Ordenanzas Urbanísticas severas en cuanto a la exigencia de medidas de defensa contra inundaciones. (4) Condicionado a la adopción de las Ordenanzas Urbanísticas indicadas en (3), y siempre que el tiempo de respuesta sea mayor de 3 horas y esté operativo el SAIH. (5) Condicionado a la adopción de Ordenanzas Urbanísticas menos exigentes que las indicadas en (3). (6) Sólo se admitirá si no existe en el municipio suelo alternativo más seguro. (7) Los equipamientos serán solo para el uso exclusivo del suelo que se desarrolla. (8) El tiempo de respuesta ha de ser mayor de 1 hora. (9) Las categorías A, B y C corresponden a una gradación de la importancia de los equipamientos desde vitales (A) hasta parques, zonas deportivas, etc (C)
Ganadero		NO	SI(2)	SI(2)	
Suelo residencial	Baja densidad	NO(3)	SI(4)	SI(5)	
	Alta densidad	NO	SI(4)(6)	SI(5)	
Suelo industrial	Ind. Ligera, Servicios	NO(3)	SI(4)(6)	SI(5)	
	I. Pesada.	NO	NO	SI(4)(6)	
Ind. molesta, insalub. o peligrosa		NO	NO	NO	
Equipamientos(9)	A	NO(6)	NO(6)	NO(6)	
	B	NO(6)	NO(6)	SI(5)	
	C	SI(8)	SI(7)	SI	

Tabla 58. Posible esquema de los diferentes usos del suelo admisibles para zonas de nuevo planeamiento que deban desarrollarse en áreas inundables.

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente (2000)

2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN RIESGO

Asturias no dispone de un inventario global ni unificado de usos del suelo con el grado de detalle que requiere el análisis del riesgo de inundación. Ha sido necesario diseñar un inventario adecuado a la realidad de nuestra región para posteriormente realizar la recogida de datos en campo.

El punto de partida para la elaboración del inventario es la definición de elementos en riesgo, para lo cual debemos tener en consideración: población, edificaciones, obras de ingeniería civil, actividades económicas, servicios públicos, elementos medio ambientales y otros usos del territorio que se encuentren en peligro en un área determinada.

Esto nos permite efectuar una primera propuesta de *leyenda de usos*, a partir de la cual se han efectuado distintos ensayos de campo en las áreas piloto del estudio. Posteriormente, tras diversos ajustes, se pasa a realizar una simplificación, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- La necesidad de coherencia y homogeneidad en las estimaciones.
- Los objetivos del trabajo dirigidos a la planificación a escala regional.
- El gran ámbito territorial objeto de análisis.
- Las variables de peligrosidad disponibles para la estimación de la exposición y del riesgo.
- La necesidad de mantener cierto grado de detalle como para permitir diferenciar las distintas situaciones de vulnerabilidad.

- El concepto de vulnerabilidad adoptado en este trabajo y los diferentes factores considerados.

A partir de estas consideraciones se ha generado una clasificación operativa para toda Asturias. En resumen, se trata de un inventario con siete grandes grupos de usos del suelo, fruto de los distintos elementos a considerar, de acuerdo con la siguiente tabla.

GRUPO	CLASE
1 Usos agrarios y vinculados al cauce	11 Edificaciones agrarias
	12 Usos agrícolas no edificados
	13 Instalaciones de piscicultura
2 Usos residenciales	21 Edificación en bloque (multifamiliar)
	22 Edificación unifamiliar
	23 Áreas con predominio del uso residencial
	24 Otras edificaciones vinculadas al uso residencial
3 Usos industriales	31 Minería
	32 Áreas de concentración industrial
	33 Instalaciones industriales aisladas
	34 Gasolineras y otros depósitos de comb.
	35 Instal. de prod. de energía eléctrica
	39 Instalaciones industriales sin uso
4 Usos terciarios	41 Instalaciones de uso comercial
	42 Servicios de alojamiento
	43 Otros usos terciarios
	49 Instal. de uso terciario desocupadas
5 Dotaciones y equipamientos	51 Dotaciones y equipamientos estratégicos
	52 Equipamientos deportivos
	53 Dotaciones de ocio y recreo al aire libre
	54 Aparcamientos
	55 Dotaciones y equipamientos especiales
	56 Otras dotaciones y equipamientos
	59 Dotaciones y equipamientos sin uso
6 Infraestructuras de transporte	61 Autopistas y carreteras
	62 Otras vías
	63 FFCC RENFE
	64 FFCC FEVE
	65 Otros ferrocarriles
	66 Instalaciones portuarias
	67 Aeropuertos y aeródromos
	68 Áreas de mantenimiento
	69 Infraestructuras de transporte sin uso
7 Infraestructuras de servicio	71 Abastecimiento de agua
	72 Saneamiento y depuración
	73 Recogida y eliminación de residuos
	74 Transporte y suministro eléctrico
	75 Transporte y suministro de gas
	76 Otras infraestructuras de servicio
	77 Presas

Tabla 59. Grupos y clases de usos del inventario de elementos en riesgo.

Dentro de los grupos se ha establecido subdivisiones denominadas clases (un total de 40) que, a su vez, se subdividen en uno o más usos. En total se han diferenciado 84 tipos o variantes de uso de la edificación y el suelo. En el Anexo 2 se incluye una selección de fotografías que ilustran esta clasificación. Por

último es necesario señalar que es posible que algunos de tipos de usos no se encuentren expuestos a la peligrosidad de inundaciones y, por tanto no aparezcan recogidos en el inventario de elementos en riesgo.

2.1.1. GRUPO 1: USOS AGRARIOS Y VINCULADOS AL CAUCE

La actividad agraria, independientemente de su orientación agrícola o ganadera, se manifiesta en un mosaico de usos diversos sobre el territorio. En el análisis que nos ocupa se efectúa una primera distinción de usos agrarios diferenciando elementos edificados de usos no edificados. Asimismo, en este grupo, también se han incluido instalaciones ligadas al cauce como son las piscifactorías.

La codificación establecida para las clases y usos de este grupo se recoge en la siguiente tabla:

CLASE		USO	
11	Edificaciones agrarias	111	Edificación agrícola o ganadera
		112	Hórreos, paneras y cabazos
12	Usos agrícolas no edificados	120	Usos agrícolas no edificados
13	Instalaciones de piscicultura	131	Instalaciones de piscicultura
		139	Instalaciones de piscicultura sin uso

Tabla 60. Grupo 1, Usos agrarios y vinculados al cauce.

La clase *Edificaciones agrarias* (11), se corresponde con edificaciones vinculadas a la actividad agrícola o ganadera, tales como: cuadras, almacenes y casetas de aperos, vaquerías, naves avícolas, invernaderos de fábrica, etc. Dentro de estas se han diferenciado hórreos, cabazos y paneras (112), pues presentan ciertas particularidades por lo que se refiere a la vulnerabilidad ante las inundaciones frente al resto de las edificaciones agrarias. Es preciso señalar que cuando al uso tradicional de estas edificaciones se añade otro de distinta naturaleza (cochera, cuadra, etc.) la codificación de uso responde a esta nueva función.

Bajo la clase de *Usos agrícolas no edificados* (12), se han recogido las áreas de sobre las que se desarrollan espacios de cultivo, invernaderos de plástico o plantaciones de frutales de alta densidad. Se ha considerado conveniente identificar estas áreas dadas las diferencias que presentan en las curvas de daños analizadas con respecto al uso de pradera con poca vulnerabilidad al riesgo de inundación. Su delimitación se apoya, en una primera aproximación, en la cartografía topográfica 1/5.000 del Principado de Asturias complementada con las notas de campo y las tareas posteriores de fotointerpretación. Cabe señalar que, dado el modelo de aprovechamiento agrícola que se aplica en Asturias, resulta muy difícil realizar un inventario exhaustivo de las superficies ocupadas

por cultivos por lo que la información incorporada al respecto tiene un carácter indicativo.

Por último, dentro de este grupo se han incluido algunas instalaciones que, por su naturaleza, se encuentran vinculadas al cauce. Así, en la *clase Instalaciones de piscicultura* (13) se ha incluido elementos como las estaciones de conteo y alevinaje, vinculadas a la gestión del recurso piscícola, y las piscifactorías, con un indudable carácter industrial-comercial, distinguiendo aquéllas que se encuentran fuera de uso pues presentan una vulnerabilidad mucho menor que las que están actualmente en funcionamiento.

2.1.2. GRUPO 2: USOS RESIDENCIALES

Probablemente sean los usos residenciales unos de los más complejos de clasificar. La heterogeneidad de la función residencial en nuestra región se traduce en distintas formas y densidades de ocupación del suelo, tipologías edificatorias y asociación de usos. Además, en muchas ocasiones el uso residencial aparece en el mismo inmueble en combinación con otros usos compatibles con el de vivienda, fundamentalmente en la planta baja de algunas tipologías.

De acuerdo con el propósito del análisis, en la clasificación del uso residencial adoptada se podrían diferenciar dos subgrupos. Las primeras clases (21 y 22) y la parte de los usos incluidos en última (24), pretende sobre todo, inventariar elementos cuya tipología es de edificación aislada. Con ello se pretende, además, que la clasificación no pierda la capacidad de identificar el poblamiento disperso. Para las áreas caracterizadas por un poblamiento concentrado se han diferenciado áreas o bolsas de urbanización en las que la función residencial aparece como predominante, diferenciadas tanto por las tipologías edificatorias que acogen como por la asociación de usos que en ellas se produce.

CLASE		USO	
21	Edificación en bloque (multifamiliar)	210	Edificación en bloque (multifamiliar)
22	Edificación unifamiliar	220	Edificación unifamiliar
23	Áreas con predominio del uso residencial	231	Área con predominio de la tipología en bloque
		232	Área con predominio de la tipología unifamiliar
		233	Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)
		234	Área de poblamiento rural
24	Otras edificaciones vinculadas al uso residencial	241	Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda
		242	Depósitos de combustible y similares
		243	Otras construcciones con uso residencial
		244	Infravivienda

Tabla 61. Grupo 2, Usos residenciales.

La *Edificación en bloque* (21) se corresponde con la edificación residencial, con desarrollo en altura y ocupación multifamiliar, mientras la *Edificación unifamiliar* (22), hace referencia a la edificación residencial, de carácter unifamiliar y desarrollo en altura limitado. En ambos casos la clase y el uso son los mismos y presentan unas características diferenciales respecto de la clase *Áreas con predominio del uso residencial* (23).

Al analizar los indicadores de vulnerabilidad debemos tener en cuenta una afección diferencial sobre el continente (vulnerabilidad de las estructuras constructivas) y el contenido (vulnerabilidad económica, sobre las personas y funciones o servicios que acoge el inmueble). Resulta imposible recoger información sobre este conjunto de variables de forma individual para cada una de las edificaciones del territorio regional. Sin embargo, sí es posible establecer unos parámetros genéricos que aporten cierta capacidad de diferenciación a las tipologías de usos consideradas. En este sentido, cabe señalar la consideración que se efectúa de la diversidad de usos en planta baja, fundamentalmente en la edificación en bloque, pues, además del residencial, aparecen usos vinculados a actividades económicas, equipamientos y servicios, y almacenaje de vehículos o mercancías. Estas características se tendrán en cuenta a la hora de elaborar los índices de vulnerabilidad.

Atendiendo a las mismas razones expuestas en el párrafo anterior, y tras evaluar el trabajo de recogida de información en las áreas piloto, se optó por incorporar una clase denominada *Áreas con predominio del uso residencial* (23) mediante la cual se delimiten zonas siempre con predominio de la función residencial. Dentro de esta clase se diferencian cuatro tipos, en función de la presencia de una tipología edificatoria determinada y de una serie de usos complementarios a la misma. Estos cuatro tipos son: *Áreas con predominio de la tipología en bloque* (231), *Áreas con predominio de la tipología unifamiliar* (232), *Áreas de tipología mixta* (233) y *Áreas de poblamiento rural* (234).

Las *Áreas con predominio de la tipología en bloque* están caracterizadas por la vivienda en altura como tipología edificatoria predominante, asumiendo cierta diversidad de usos en planta baja. Se incluyen en estos conjuntos los espacios de relación y espacios comunes vinculados a la edificación, tales como viarios internos, plazas de aparcamiento y pequeñas zonas ajardinadas y de recreo. En contraposición, las *Áreas con predominio de la tipología unifamiliar* son conjuntos residenciales caracterizados por la vivienda unifamiliar como tipología edificatoria predominante. Se contempla en la definición de estos espacios la existencia de viarios de comunicación interna, al igual que edificaciones auxiliares a la vivienda (cocheras), espacios de jardín, e incluso pistas deportivas o piscinas. La diversidad de situaciones aparecidas en el transcurso del análisis de campo de las áreas piloto, obligó a diferenciar un uso intermedio (*Áreas de tipología mixta*, 233) que permitiera cartografiar asociaciones de tipología más complejas que las dos anteriores, es decir, que incluyen tanto edificaciones de tipología unifamiliar y en bloque.

Finalmente bajo la denominación de *Áreas de poblamiento rural* (234), se cartografían los asentamientos tradicionales de población compuestos por un conjunto edificatorio de, al menos, cinco construcción cuyo destino y tipología sea el de vivienda unifamiliar, que se complementa con edificaciones auxiliares a la vivienda y otras de naturaleza agraria, tales como cuadras, hórreos y paneras. Se incluyen además aquellos viarios internos que vertebran el conjunto, al igual que pequeñas huertas y cultivos y las parcelas intersticiales sin uso en el momento de la recogida de datos, entendiéndose que pueden ser ocupadas en cualquier momento conforme al normal desarrollo de la entidad de población.

Para completar los grupos de usos vinculados a este grupo se diferencia una última clase, *Otras edificaciones vinculadas al uso residencial* (24) con dos tipos de usos: aquellos vinculados al uso residencial, y que por tanto carecerían de sentido sin estar asociados a este; y aquéllos que se corresponden con otras modalidades residenciales que podríamos calificar como menores. Podemos hablar de: *Edificaciones exentas con uso auxiliar de la vivienda*, en donde se contemplan elementos tales como cocheras, trasteros y tendejones, además de hórreos y paneras habilitados para tal función; *Depósitos de combustible y similares vinculados a la vivienda*, tales como los de gasóleo-calefacción; *Cabañas y “finas de semana”*; e *Infravivienda*, asentamientos humanos en condiciones precarias, con estándares de habitabilidad muy bajos y deficiencias en los equipamientos, vinculadas a la autoconstrucción o a colectivos sociales marginales.

2.1.3. GRUPO 3: USOS INDUSTRIALES

En este grupo se han incluido todas las superficies y edificios destinadas a albergar actividades productivas secundarias, almacenes, talleres y gasolineras. Los criterios para la clasificación de las instalaciones en las que se desarrolla este uso se basan en primer lugar en el modo de ocupación del espacio. Atendiendo a este criterio general se diferencia la *Minería* (clase 31); de las *Áreas de concentración industrial* (32) y de las *Instalaciones industriales aisladas* (33).

La clase de la *Minería* (31) identifica espacios vinculados a la actividad minera y extractiva. Dentro de ella se diferencian, en primer término, los espacios asociados a la *Minería Subterránea* (311), pozos e instalaciones exteriores, de los vinculados a la *Minería al aire libre* (312), fundamentalmente canteras. Además se identifican otras *Instalaciones vinculadas a la minería* (313), dispositivos fuera de las áreas principales de actividad, y los *Depósitos de minerales o rocas* (314) como las escombreras.

CLASE		USO	
31	Minería	311	Minería subterránea
		312	Minería aire libre
		313	Instalaciones vinculadas a la minería
		314	Depósitos de minerales o rocas
32	Áreas de concentración industrial	321	Áreas industriales ocupadas
		322	Áreas industriales no ocupadas
33	Instalaciones industriales aisladas	330	Instalaciones industriales aisladas
34	Gasolineras y otros depósitos de combustible	340	Estac. servicio y otros depósitos de combustibles
35	Instal. de producción de energía eléctrica	350	Instalaciones de producción de energía eléctrica
39	Instalaciones industriales sin uso	390	Instalaciones industriales sin uso

Tabla 62. Grupo 3, Usos industriales.

Las *Áreas de concentración industrial* (32) engloban aquellos centros de actividad industrial que se desarrollan en un entorno planificado, como por ejemplo los polígonos industriales, las superficies ocupadas por las grandes industrias y los corredores industriales, caracterizados por una sucesión continua de instalaciones y edificaciones dedicadas a actividades secundarias o de almacenamiento de productos. Dentro de esta clase se consideró de interés, para la estimación de los indicadores de vulnerabilidad, diferenciar aquellas zonas que, aun contando con urbanización y servicios, todavía no albergan actividades productivas.

Por su parte la clase 33, *Instalaciones industriales aisladas* acoge a todas aquellas instalaciones industriales, no más de tres edificaciones, de carácter diverso y, por lo general, de pequeñas dimensiones, con una ubicación desvinculada de las anteriores. Es preciso apuntar que la clase 33 está referida a edificaciones exentas donde el uso secundario es principal, cuya tipología edificatoria responde a la de nave, y sus superficies y edificaciones auxiliares. Por tanto, no se encuentran identificados individualmente, por ejemplo, los talleres ubicados en la planta baja de un edificio residencial en bloque, aunque esta posibilidad sí se tiene en cuenta en el cálculo de los índices de vulnerabilidad.

Respecto a las *Estaciones de servicio y otros depósitos de combustibles* (34), aun cuando por el tipo de actividad no estarían incluidas dentro de las actividades secundarias, se ha decidido incluirlas en este grupo atendiendo a su función de almacenamiento de carburantes y combustibles y, por tanto, a los posibles problemas de contaminación derivados de la afección a este tipo de elementos. Otra razón que aconsejaba inventariar las gasolineras bajo un código específico es que este tipo de usos tienen cierto carácter estratégico ante una emergencia y cubren un servicio de importancia para el normal funcionamiento de la comunidad. Por último, cabe señalar que tan sólo cuatro estaciones de servicio se encuentran incluidas en el inventario de medios y recursos del PLATERPA. Por razones similares también se decidió diferenciar en la codificación definitiva las *Instalaciones de producción de energía eléctrica* (35), denominación bajo las que se agrupan los centros de producción de energía eléctrica tales como centrales térmicas, centrales hidroeléctricas y minicentrales.

Finalmente se diferencia una clase de *Instalaciones industriales sin uso* (39), en la que se identifican aquellos centros de actividad industrial que han perdido su funcionalidad y carecen de uso en el momento en que se desarrolla el trabajo.

2.1.4. GRUPO 4: USOS TERCIARIOS

Las actividades económicas vinculadas a edificaciones de uso exclusivo, aparecen recogidas en este grupo, no incluyendo, por tanto, aquellas actividades económicas localizadas en la planta baja de edificaciones y conjuntos destinados a la función residencial (grupo 2).

La diferenciación de clases en el Uso Terciario se apoya en las diferentes características que presentan las actividades y en su repercusión sobre la vulnerabilidad. Planteamos en consecuencia la siguiente tipología:

CLASE		USO	
41	Instalaciones de uso comercial	410	Instalaciones de uso comercial
42	Servicios de alojamiento	421	Hoteles, hostales y similares
		422	Campamentos de turismo
43	Otros usos terciarios	430	Otros servicios terciarios
49	Instal. de uso terciario desocupadas	490	Instalaciones de uso terciario desocupadas

Tabla 63. Grupo 4, Usos terciarios.

La clase *Instalaciones de uso comercial* (41) identifica espacios y edificaciones de uso comercial exclusivo, tales como grandes superficies, supermercados o economatos. El principal factor de vulnerabilidad en este tipo de uso es el económico pues las pérdidas económicas y materiales, vinculadas a las mercancías que almacenan, son el factor más relevante.

La de *Servicios de alojamiento* (42) agrupa a aquellas edificaciones y áreas destinadas a proporcionar, como su nombre indica, servicios turísticos de albergue y alojamiento (hoteles, hostales, alojamientos rurales, albergues o campings). Se efectúa un tratamiento desagregado de acuerdo con la naturaleza de la actividad, de tal manera que se diferencian los servicios de alojamiento edificados, tales como hoteles, albergues o casas de aldea, de los espacios habilitados para el campismo, englobando espacios de acampada y edificaciones de gestión y servicios. Además de las pérdidas económicas para la estimación de la vulnerabilidad de estos usos deberá tenerse en cuenta la posible afección a los huéspedes.

Bajo la clase 43, *Otros usos terciarios* se agrupan un conjunto diverso de usos relacionados con los servicios, comercio y la actividad terciaria en general (hostelería, oficinas y centros de empresas, concesionarios de automóviles, etc.), no incluidas en las anteriores clases y siempre que se desarrollen en edificación de uso exclusivo, es decir, no combinado con el uso de vivienda. Finalmente se

han identificado las *Instalaciones de uso terciario desocupadas* (49), para recoger aquellas edificaciones con carácter terciario que carecen de uso en el momento en que se desarrolla el trabajo.

2.1.5. GRUPO 5: DOTACIONES Y EQUIPAMIENTOS

La categoría de Dotaciones y Equipamientos es la más heterogénea de las establecidas. Se ha dividido en clases atendiendo, en primer lugar, al carácter estratégico o sensible de la función que desempeñan y, en segundo lugar, a su diferente vulnerabilidad ante un episodio de avenida. Así se han llegado a distinguir siete clases.

Las *Dotaciones y equipamientos estratégicos* (51) se corresponden con centros de carácter vital para el normal desarrollo de la vida en una sociedad, que dan servicio a grupos sociales especialmente vulnerables o deben desempeñar funciones básicas ante una emergencia. Se identifican los siguientes usos: *Instalaciones del servicio de Bomberos*, *Instalaciones de los cuerpos de seguridad*, (Comisarias de policía o Cuarteles de Guardia Civil), *Instalaciones de Protección Civil*, *Equipamientos Sanitarios* (hospitales, ambulatorios, consultorios periféricos, etc.), *Equipamientos Educativos* (colegios, institutos, escuelas taller, etc.) y *Equipamientos asistenciales*, (residencias de la tercera edad, centros de día, etc.). Recordar, además, que a los elementos identificados en esta clase hay que añadir la selección de los medios y recursos catalogados por el PLATERPA.

CLASE		USO	
51	Dotaciones y equipamientos estratégicos	511	Instalaciones del servicio de Bomberos
		512	Instalaciones de los cuerpos de seguridad
		513	Instalaciones de Protección Civil
		514	Equipamientos sanitarios
		515	Equipamientos educativos
		516	Equipamientos asistenciales
52	Equipamientos deportivos	521	Instalaciones deportivas diáfanas y al aire libre
		522	Instalaciones deportivas edificadas
53	Dotaciones de ocio y recreo al aire libre	531	Parques urbanos
		532	Áreas recreativas
		533	Paseos y sendas peatonales
		534	Zonas ajardinadas
54	Aparcamientos	541	Aparcamientos subterráneos
		542	Aparcamientos al aire libre
55	Dotaciones y equipamientos especiales	551	Cementerios
		552	Mataderos
		553	Mercados y recintos feriales
		554	Vertederos
		555	Establecimientos penitenciarios
56	Otras dotaciones y equipamientos	560	Otras dotaciones y equipamientos
59	Dotaciones y equipamientos sin uso	590	Dotaciones y equipamientos sin uso

Tabla 64. Grupo 5, Dotaciones y equipamientos.

Atendiendo a las distintas características constructivas y, por tanto, a su distinta vulnerabilidad, dentro de los *Equipamientos deportivos* (52) se han diferenciado entre: *Instalaciones deportivas diáfanas y al aire libre*, (piscinas descubiertas, boleras o pistas deportivas) con una vulnerabilidad muy pequeña pues los equipamientos son reducidos, e *Instalaciones deportivas edificadas*, fundamentalmente polideportivos y gimnasios, con una vulnerabilidad mayor dado su mayor grado de equipamiento.

Dentro de las *Dotaciones de ocio y recreo al aire libre* (53) se han diferenciado cuatro tipologías atendiendo al grado de urbanización y a la presencia de mobiliario, lo cual incide sobre todo en el volumen de las pérdidas materiales en una inundación. Las tipologías diferenciadas son: *Parques urbanos*, espacios vinculados a la trama urbana y caracterizados por la existencia de mobiliario urbano, equipamientos de ocio y recreo, zonas ajardinadas, arbolado, etc.; *Áreas recreativas y similares*, con características semejantes a los anteriores pero en entornos con mayor grado de naturalidad; *Paseos y sendas peatonales*, infraestructuras viarias orientadas al ocio y recreo y en las que por lo tanto su afección no repercute a las comunicaciones; y *Zonas ajardinadas*, espacios verdes, parterres y jardines vinculados a edificaciones o infraestructuras viarias.

Por lo que se refiere a los *Aparcamientos* (54) son espacios y construcciones habilitados para el estacionamiento de vehículos, temporal o permanentemente, tanto al aire libre como de forma subterránea y, en el caso de las edificaciones, con carácter exclusivo para ese uso. Presentan una vulnerabilidad vinculada fundamentalmente a las pérdidas económicas, que resulta más elevada en los subterráneos puesto que la afección potencial es mayor.

Bajo la denominación de *Dotaciones y equipamientos especiales* (55) identifican distintos equipamientos que presentan ciertas particularidades interesantes a la hora de estimar los indicadores de vulnerabilidad.

En lo que a la clase de *Otras dotaciones y equipamientos* se refiere, es preciso destacar la heterogeneidad de los elementos identificados, pues por sus características no pueden ser agrupados en ninguna de las clases anteriores. En general se trata de equipamientos de carácter administrativo y de gestión, tales como casas consistoriales, centros culturales, bibliotecas, museos, iglesias o capillas.

Finalmente la clase *Dotaciones y equipamientos sin uso* (59), se emplea para identificar aquellas edificaciones y espacios concebidos como equipamientos y carentes de uso en el momento en que se desarrolla el trabajo.

2.1.6. GRUPO 6: INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE

En el grupo de las Infraestructuras de Transporte se incluyen las vías rodadas, los ferrocarriles y las instalaciones portuarias y aeropuertos, así como aquellos elementos necesarios para su correcto funcionamiento.

Las clases *Autopistas y Carreteras* (61) y *Otras vías* (62) identifican la red viaria del Principado de Asturias, clasificada conforme a la jerarquía establecida en el *Mapa de carreteras del Principado de Asturias* (desde autovías hasta otras vías pasando por carreteras de las redes estatal, regional, comarcal y municipal). El nivel dentro de la citada jerarquía se ha tomado como indicador de vulnerabilidad para los diversos índices.

En el uso *Otras vías rodadas y áreas pavimentadas* (621) se recoge el entramado viario y las áreas pavimentadas o acondicionadas de carácter local no incluido en alguna de las categorías anteriores, tales como por ejemplo el viario urbano. Se entiende que la afección sobre esta red se traduce en una vulnerabilidad menor que la descrita para la clase anterior, pues el volumen de población y la densidad de los tráficos afectados es de carácter local.

Por lo que respecta al entramado ferroviario, se han diferenciado la *Red de Ferrocarril de RENFE* (63) y la *Red de Ferrocarril de FEVE* (64), para mantener la coherencia con los propios trazados, aunque se considera que esta distinción no debe tener influencia en la estimación de los indicadores de vulnerabilidad. En ambos casos se identifican por separado los siguientes usos: *Trazados ferroviarios*, *Estaciones y apeaderos* y *Otros elementos de la red*, tales como hangares, talleres, casetas de señalización, etc. Por otra parte se han cartografiado los elementos y trazados pertenecientes a *Otros ferrocarriles* (65), que sirven tráficos específicos, fundamentalmente vinculados a la actividad industrial. La vulnerabilidad de estos elementos, dado su carácter local, debe ser inferior a la de las otras dos clases anteriores.

CLASE		USO	
61	Autopistas y carreteras	611	Autopistas y autovías
		612	Carreteras de la red estatal
		613	Carreteras de la red regional
		614	Carreteras de la red comarcal
		615	Carreteras de la red local de 1 ^{er} orden
		616	Carreteras de la red local de 2 ^o orden
		617	Carreteras municipales
62	Otras vías	621	Otras vías rodadas y áreas pavimentadas
		622	Pasos peatonales
63	FFCC RENFE	631	RENFE. Trazado ferroviario
		632	RENFE. Estación - apeadero
		633	RENFE. Otros elementos
64	FFCC FEVE	641	FEVE. Trazado ferroviario
		642	FEVE. Estación - apeadero
		643	FEVE. Otros elementos
65	Otros ferrocarriles	651	Otros FFCC. Trazado ferroviario
		652	Otros FFCC. Estación - apeadero
		653	Otros FFCC. Otros elementos

CLASE		USO	
66	Instalaciones portuarias	661	Muelles y áreas de tránsito de mercancías
		662	Equipamientos portuarios
		663	Otros elementos vinculados al uso portuario
67	Aeropuertos y aeródromos	671	Pistas de aterrizaje
		672	Equipamientos aeroportuarios
		673	Otros elementos vinculados al uso aeroport.
68	Áreas de mantenimiento	680	Áreas de mant. de las infraestructuras viarias
69	Infraestructuras de transporte sin uso	690	Infraestructuras de transporte sin uso

Tabla 65. Grupo 6, Infraestructuras de transporte.

Bajo la clase de *Instalaciones portuarias* (66) aparecen cartografiadas aquellos espacios portuarios expuestos a algún tipo de peligrosidad, conforme a la zonificación geomorfológica. Así mismo, se identifican aquellos puertos que, si bien no presentan ningún grado de exposición, aparecen vinculados al inventario de medios y recursos del PLATERPA. Se identifican: *Muelles y áreas de tránsito de mercancías*, *Equipamientos portuarios* (aduana, rula, etc.) y *Otros elementos complementarios* (almacenes, tinglados, etc.).

Para completar la clasificación de infraestructuras se recogen los *Aeropuertos y aeródromos* (67). Dadas las características de nuestra región, aparece inventariado el Aeropuerto de Asturias, para mantener la coherencia interna de la clasificación y por su relevancia para el inventario del PLATERPA, a pesar de que no se encuentra expuesto a la peligrosidad por inundaciones.

Finalmente se identifican como *Áreas de mantenimiento* (68) aquellas instalaciones vinculadas a la gestión, mantenimiento y conservación de la red viaria. También se incluyen en este grupo, como *Infraestructuras de transporte sin uso* (69), aquellas instalaciones vinculadas a infraestructuras de transporte actualmente no utilizadas como, por ejemplo, los antiguos trazados ferroviarios que han perdido su función.

2.1.7. GRUPO 7: INFRAESTRUCTURAS DE SERVICIO

En el grupo de usos correspondiente a las *Infraestructuras de servicio* se pretende recoger los elementos pertenecientes a las distintas redes que proporcionan los servicios de abastecimiento de agua, saneamiento, suministro eléctrico, de gas, comunicaciones, etc. En primer lugar hemos de señalar que ha sido imposible acceder a fuentes generales con la calidad y el detalle necesario para incorporar todas las redes. Esta circunstancia nos ha llevado a cartografiar elementos puntuales fundamentalmente a partir de su identificación en el trabajo de campo. Finalmente se cartografían las *Presas* (77), independientemente de su tipología y magnitud, por el interés que presenta la infraestructura en su vinculación con el cauce, aunque no se dispone de los distintos Planes de Emergencia de Presa.

En la siguiente tabla se recogen las seis clases de infraestructuras de servicio diferenciadas.

CLASE		USO	
71	Abastecimiento de agua	710	Abastecimiento de agua
72	Saneamiento y depuración	720	Saneamiento y depuración
73	Recogida y eliminación de residuos	730	Recogida y eliminación de residuos
74	Transporte y suministro eléctrico	740	Transporte y suministro eléctrico
75	Transporte y suministro de gas	750	Transporte y suministro de gas
76	Otras infraestructuras de servicio	760	Otras infraestructuras de servicio
77	Presas	770	Presas

Tabla 66. Grupo 6, Infraestructuras de servicio.

A continuación, a modo de ejemplo, se señalan algunos de los tipos de elementos cartografiados bajo el código de uso:

- *Abastecimiento de agua (710)*: estaciones de tratamiento de aguas potable, estaciones de bombeo, arquetas de conexión, tuberías, depósitos, captaciones, etc.
- *Saneamiento y depuración (720)*: estaciones depuradoras de aguas residuales, estaciones de bombeo de aguas residuales, aliviaderos, pozos de registro, etc.
- *Recogida y eliminación de residuos (730)*: estaciones de transferencia habilitadas para gestionar la recogida de residuos sólidos urbanos y los denominados puntos limpios, instalaciones complementarias a la red habilitadas para la recogida de residuos específicos.
- *Transporte y suministro eléctrico (740)* subestaciones eléctricas y centros de transformación.
- *Transporte y suministro de gas (750) y Otras infraestructuras de servicio (760)*: elementos destacados de las redes de comunicación (telefonía) suministro de gas.

2.2.1. FUENTES DE INFORMACIÓN TERRITORIAL UTILIZADA

2.2.1.a. El Mapa Topográfico Digital del Principado de Asturias

La principal fuente de información territorial utilizada para la elaboración del inventario de elementos en riesgo ha sido el Mapa Topográfico Digital a escala 1:5.000 del Principado de Asturias. Esta fuente presentaba dos características que aconsejaban su utilización en el presente trabajo. Por un lado, es una fuente cartográfica homogénea para todo el territorio de la Comunidad Autónoma y, por otro, se trata de la cartografía oficial del Principado de Asturias con lo que al mismo tiempo se da cumplimiento al contenido de la Directriz Básica de Protección Civil.

La estructura de datos de esta cartografía consta de 63 niveles de información distribuidos en los siguientes grupos temáticos:

- Nivel 1: Coordenadas
- Niveles 2 y del 4 al 9: Relieve
- Niveles del 10 al 19: Hidrografía
- Niveles del 20 al 22: Áreas Forestales
- Nivel 23: Vegetación y cultivos
- Nivel 24: Parcelario y cerramientos
- Niveles del 30 al 39: Edificaciones y toponimia del poblamiento.
- Niveles del 40 al 49: Viario
- Niveles 50, 51 y 52: Ferrocarril
- Niveles 53 y 54: Aeropuertos
- Nivel 55: Puertos
- Niveles 56 y 57: Electricidad y comunicaciones
- Nivel 58: Gasoducto
- Nivel 60: División administrativa
- Nivel 61: Geodesia y control
- Nivel 62: Toponimia

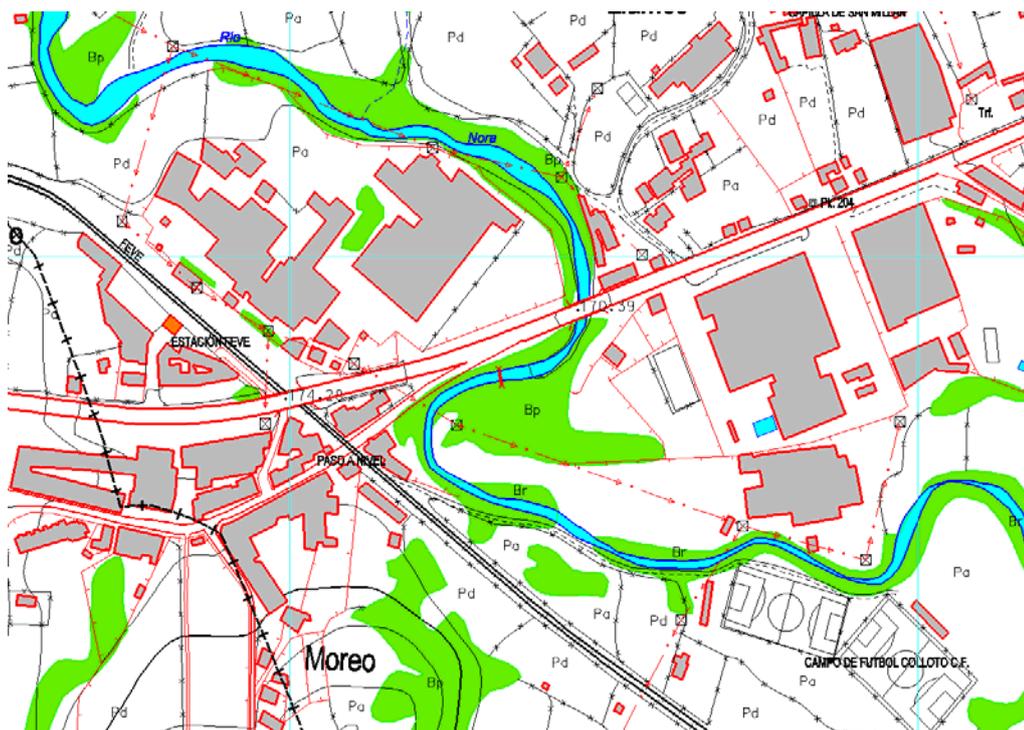


Figura 93. Fragmento de la hoja 29-26 del Mapa Topográfico Digital 1/5.000 del Principado de Asturias

Para la elaboración del inventario no ha sido necesaria la utilización de todos los niveles de información disponibles, de tal manera que se ha aplicado un filtro para la selección de la misma, utilizándose principalmente los niveles referidos a parcelarios y cerramientos, edificaciones, infraestructuras, comunicación y abastecimiento, además de las de hidrografía y toponimia.

Pese a todo hay que tener en cuenta que la base cartográfica 1:5.000 fue realizada a partir de un vuelo fotográfico efectuado entre octubre de 1994 y octubre de 1995. Por tanto, la cartografía se elaboró hace casi 10 años, lo que supone una importante limitación ya que la información de las hojas, sobre todo en aquellas áreas del territorio más dinámicas, se encuentra totalmente obsoleta. Este hecho nos obligó a buscar fuentes de información complementarias que permitieran actualizar la información de base y orientar el trabajo de campo. Por su parte, estas fuentes complementarias, a diferencia de la base cartográfica 1:5.000, presentan el inconveniente de estar referidas a una parte del territorio (a un concejo, por ejemplo) o de ocuparse de aspectos sectoriales parciales (educación, sanidad, etc.)

Además de las limitaciones derivadas de la fecha de realización de la cartografía base, existen otras derivadas de la estructura de datos de la información disponible. Así por ejemplo, en el caso de las infraestructuras de comunicación por vía terrestre no es posible realizar una codificación jerárquica de la red de manera sistemática, ya que la estructura de niveles no lo permite, a

pesar de la existencia de etiquetas identificativas. Lo mismo ocurre con las edificaciones, ya que salvo los hórreos y algunos equipamientos, no es posible diferenciar, a partir de la información ofrecida por el 1:5.000, los usos de la edificación.

2.2.1.b. Fuentes de Información Territorial Complementaria

En los últimos diez años, Asturias ha experimentado importantes cambios a nivel territorial, cambios que son más acusados en las zonas más dinámicas del territorio, caso del entorno de las concentraciones urbanas regionales o en aquellas áreas en proceso de reconversión, caso de las cuencas mineras. De la misma manera han aparecido nuevas infraestructuras de comunicación, AS-1 (autovía minera), autovía del cantábrico, y se han modificado parte de las ya existentes.

Como ya hemos señalado, la falta de actualización de la cartografía oficial del Principado de Asturias nos obligó a recurrir a fuentes de información territorial adicionales que la complementaran y que nos permitieran afrontar el trabajo de campo con una visión más próxima de a la realidad actual del territorio asturiano.

Nuestro objetivo era incorporar al proyecto en general y a la estimación de la vulnerabilidad en particular, las transformaciones sufridas por los usos del territorio de la manera más fidedigna posible. Para ello se ha recurrido a fuentes cartográficas con un grado de detalle mayor o igual a la cartografía oficial del Principado a escala 1:5.000.

Sin embargo, pese al gran esfuerzo realizado, debemos advertir que el resultado no debe entenderse como la actualización del Mapa Topográfico Digital 1/5.000 del Principado de Asturias, labor que, además de requerir la aplicación de métodos diferentes a los utilizados, no se encuentra dentro de los objetivos del proyecto en el nos encontramos. De hecho las fuentes de información complementarias se han utilizado para cartografiar los distintos tipos de elementos en riesgo dentro del área de estudio. Estos elementos se han incorporado a la capa correspondiente dentro de la estructura general del sistema de información geográfica, creado para gestionar la información de riesgo de inundaciones, pero en ningún caso se han incorporado a las hojas en formato DGN de MICROSTATION[®] del Mapa Topográfico Digital 1/5.000.

A continuación se enumeran las principales fuentes complementarias utilizadas.

EIEL del Principado de Asturias

La Encuesta de Infraestructuras y Equipamientos Locales fue concebida para analizar y valorar de las necesidades de dotaciones locales a efectos de la Cooperación Económica Local del Estado. La finalidad última de la Encuesta es conocer la situación de las infraestructuras y equipamientos de competencia municipal, formando un inventario de ámbito nacional, de carácter censal con

información precisa y sistematizada de los municipios con población inferior a 50.000 habitantes.

El acceso a la EIEL del Principado de Asturias, facilitada por el Servicio de Cooperación y Desarrollo Local de la Dirección General de Administración Local (Consejería de Presidencia) en formato digital, nos permitió disponer de información cartográfica, a escala 1:5.000, más actualizada que la contenida en la cartografía oficial ya que la fecha de realización, dependiendo del concejo, abarca un el periodo comprendido entre 1999 y 2003.

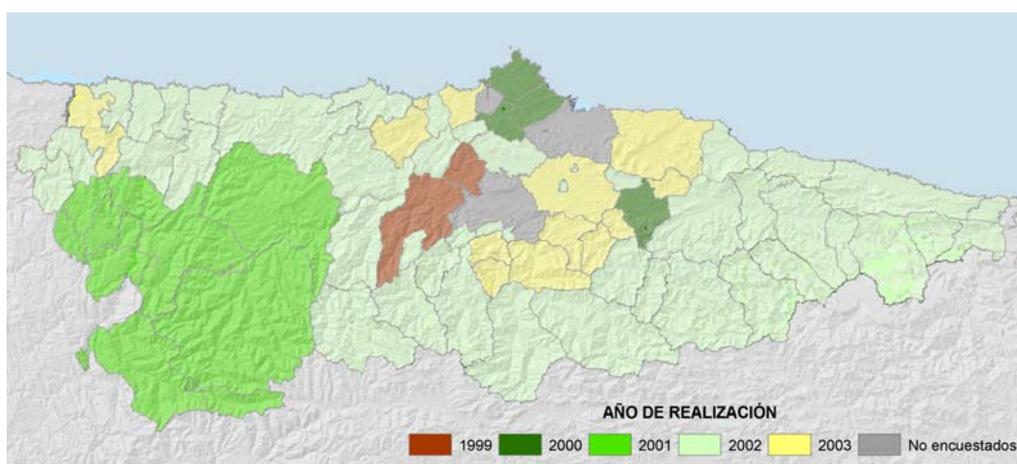


Figura 94. Fechas de la EIEL del Principado de Asturias por concejos.

Aún así, hay que señalar que la cobertura espacial de esta fuente es limitada, ya que la mayor parte de la información se circunscribe a las entidades de población de cada municipio y sus entornos inmediatos, lo que supone encontrar amplias extensiones de territorio sin cobertura por la encuesta. Otro inconveniente de esta fuente deriva de su desarrollo temporal que abarca cinco años desde que se encuestaron los primeros municipios en 1999 (Grado y las Regueras).

No obstante, la EIEL ha sido muy útil como guía para orientar el reconocimiento sobre el terreno, al proporcionar información acerca de nuevas edificaciones y viarios, ubicación de dotaciones y equipamientos e instalaciones de abastecimiento y saneamiento.

Bases Cartográficas Municipales

Para algunos concejos ha sido posible acceder a las bases cartográficas municipales. Estos municipios son los de Avilés, Corvera, Castrillón, Gijón, Langreo, Sobrescobio y Oviedo.

En los casos de Langreo y Sobrescobio las corporaciones municipales nos han permitido el acceso a la cartografía digital del concejo a escala 1:1.000 lo

que supone un importante apoyo a la hora de incorporar información no existente en la cartografía del Principado.

Para Corvera, Avilés y Gijón los mapas se han obtenido en formato PDF, de los Planes Generales de Ordenación Urbana respectivos siendo necesaria la georeferenciación de los mismos para su posterior digitalización en los casos en los que fuera preciso. En el caso de Oviedo se ha tenido acceso a varios archivos en formato *.DWG de AUTOCAD® para áreas concretas del concejo como la Corredoria, Olloniego y Tudela Veguín.

Trazados de carreteras

Se solicitaron los proyectos y nuevos trazados de las carreteras al Principado de Asturias y al Ministerio de Fomento. Los trazados de las carreteras de titularidad autonómica fueron facilitados por el Servicio de Programas y Supervisión de Proyectos de la Dirección General de Carreteras (Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras). También la Demarcación de Carreteras del Estado en Asturias (Ministerio de Fomento) nos proporcionó los proyectos y nuevos trazados de las carreteras de la Red Nacional que trascurren y/o afectan al territorio asturiano.

Los formatos de la información recopilada son variados. La mayor parte de los proyectos de las carreteras facilitadas están en formato digital DWG de AUTOCAD® o DGN de MICROSTATION® si bien algunos, dada la fecha de ejecución, han sido facilitados en formato papel lo que requiere su digitalización para su posterior tratamiento informático.

CARRETERA	TRAMO
A-8	Variante de Navia
	Lloreda-Piles
	Piles-Infanzón
	Lieres-Villaviciosa
	Venta del Pobre - Colunga
	Colunga - Caravia
	Nudo de Llovio
	Llovio-Llanes
A-64	Marcenado - Lieres
A-63	Oviedo-La Espina
AS-1	Completa
AS-15	Cornellana - San Martín de Lodón
AS-17	Desdoblamiento Lugones-Bobes
	Corredor del Nalón
	Desdoblamiento Riaño-Sama
	Barredos-Puente del Arco
	Puente del Arco-Rioseco
	Rioseco-Campo Caso
AS-18	Villapérez-Paredes
	Veranes-Porceyo
AS-29	San Antolín de Ibias-La Regla
AS-112	Variante de Moreda
AS-114	Variante de Cangas de Onís
	Arenas-Niserías
	Niserías-Panes
AS-212	Sisterna-Intersección AS-15
AS-213	Cangas del Narcea-Leitariegos

CARRETERA	TRAMO
AS-218	Barcena del Monasterio-Piedrafita
AS-229	Caranga-Barzana de Quirós
AS-235	Soto-Peñaflor
AS-265	La Plaza-Villanueva
TI-8	Calleras-Muñalén

Tabla 67. Trazados de carreteras consultados para la elaboración del inventario de elementos en riesgo.

En la tabla anterior se relacionan los tramos de las carreteras de nueva construcción, así como los tramos modificados de carreteras ya existentes que por no estar representados en el Mapa Topográfico del Principado se han recopilado y consultado.

Inventarios y catálogos sectoriales

El alcance temático de los inventarios hace imprescindible la utilización de catálogos sectoriales de elementos. A este grupo pertenecen un conjunto de fuentes diverso tanto por sus contenidos, formato y procedencia como por la referenciación espacial de los elementos. Los catálogos e inventarios consultados son:

- *Sistema de Información Territorial del Principado de Asturias (SITPA)*. Centro de Cartografía Territorial y Ambiental, Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras. (<http://www.princast.es/>)
- *Sistema de Información Ambiental del Principado de Asturias (SIAPA)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras. (<http://www.princast.es/>)
- *Catálogo de Medios y Recursos del PLATERPA*. 112 Asturias, Consejería de Justicia, Seguridad Pública y Relaciones Exteriores.
- *Mapa de Recursos Formativos del Principado de Asturias (MRFP)*. Dirección General de Formación Profesional, Consejería de Educación y Ciencia. (<http://www.princast.es/>)
- *Mapa de Recursos Sociales del Principado de Asturias (MRS)*. Consejería de Asuntos Sociales. (<http://www.princast.es/>)
- *Mapa de Suelo Industrial del Principado de Asturias*. IDEPA, Consejería de Industria, Comercio y Turismo. (<http://www.princast.es/>)
- *Mapa de Recursos Sanitarios del Principado de Asturias*. Gobierno del Principado de Asturias. (<http://www.princast.es/>)
- *Catálogo de Bienes de Interés Cultural del Principado de Asturias*. Dirección General de Cultura, Consejería de Cultura Comunicación Social y Turismo (http://tematico.princast.es/cultura/cultura_web/)

Vuelo del Principado de Asturias de 2003

El Principado de Asturias encargó un vuelo fotográfico en color a escala 1:15.000 que se realizó en septiembre de 2003. A partir de marzo de 2004, una vez procesados los fotogramas y realizado el pertinente control de calidad, el Centro de Cartografía Territorial y Ambiental (Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras) nos proporcionó el acceso a los fotogramas del vuelo.

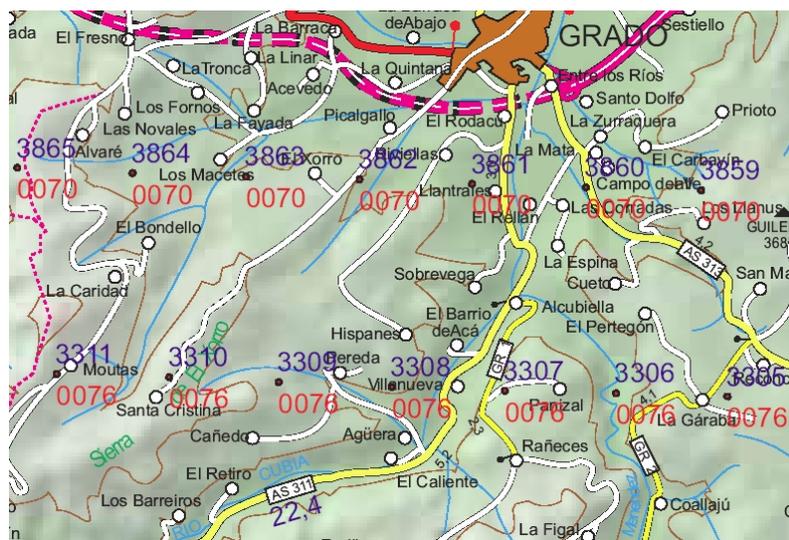


Figura 95. Fragmento del Plano director del vuelo 1:15.000 de 2003 del Principado de Asturias.

Este vuelo se ha utilizado como apoyo, tanto para el reconocimiento sobre el terreno como para la elaboración de la cartografía posterior, en aquellas áreas más dinámicas del territorio en las que han tenido lugar cambios importantes que no están reflejados en la cartografía de base ni en la cartografía complementaria.

Al igual que ocurre con el resto de las fuentes complementarias, la incorporación de nuevos elementos no debe interpretarse como una actualización de la cartografía base, sino como un apoyo adicional que nos permite representar los elementos del territorio con mayor rigor cartográfico y, por tanto alcanzar mayor precisión en la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo.

Otras fuentes cartográficas complementarias

Además de las citadas hasta ahora se ha recurrido a diversas fuentes de información de procedencia muy diversa y de ámbito y temática específica. Entre ellas, a modo de ejemplo, podemos señalar las siguientes:

- Cartografía digital de las instalaciones del Consorcio para el Abastecimiento de Aguas y Saneamiento de la Zona Central de Asturias (CADASA) en la que se representan las principales instalaciones sobre la base del mapa topográfico 1:5.000.
- Cartografía del Club de Golf de las Caldas

- Cartografía de la Urbanización Monte Somos en Ribadesella.
- Cartografía Realizada por el INDUROT, como por ejemplo, la del Jardín Botánico Atlántico de Gijón o la de la playa de San Pedro de La Ribera en Cudillero
- Anuario Guía de Industriales, Profesionales y Polígonos Industriales editado por MARTECSA, que ofrece una relación de todos los polígonos y áreas industriales y su grado de ocupación para el Principado de Asturias en el que se incluye un anexo cartográfico y fotográfico.

2.2.2. INVENTARIO DE ELEMENTOS EN RIESGO

La determinación del ámbito de análisis de la vulnerabilidad está directamente relacionada con la afección espacial de la peligrosidad. Por tanto, una vez que se dispone de la delimitación de la delimitación de la peligrosidad (inundaciones ligadas a la dinámica fluvial, torrencial o marina) para una cuenca o subcuenca hidrográfica ya es posible determinar el ámbito de análisis para el inventario de los elementos en riesgo.

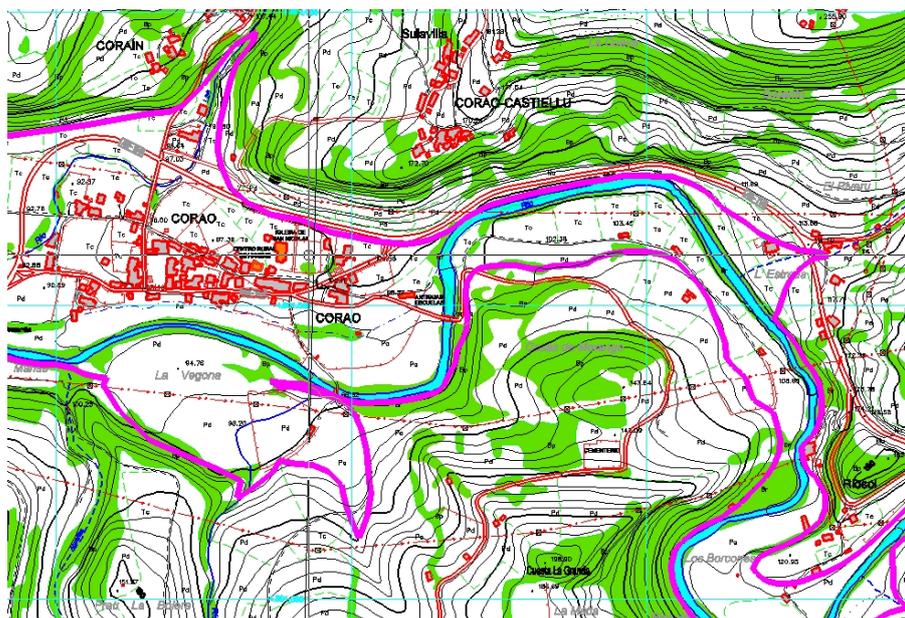


Figura 96.
Fragmento del
ámbito de estudio
de la cuenca del
Río Güeña.

Como ámbito de trabajo se ha tomado el área afectada por algún tipo de peligrosidad derivada de la dinámica fluvial o marina así como las zonas afectadas por la dinámica torrencial adyacentes a las anteriores.

A partir de este punto comienza a desarrollarse el proceso que se describe a continuación.

2.2.2.a. Preparación del reconocimiento de campo

Una vez delimitado el ámbito de análisis se procede a la selección, análisis y valoración de la cartografía base y de las fuentes de información complementarias disponibles para la cuenca o subcuenca. Las principales tareas que se desarrollan en esta primera fase son:

- Seleccionan las hojas del Mapa Topográfico 1:5.000 del Principado
- Selección de los núcleos de población que estando en área inundable disponen de Encuesta de Infraestructuras y Equipamiento Locales.
- Selección de los nuevos trazados y carreteras disponibles que se encuentren en área de riesgo.
- Selección de los diferentes elementos incluidos en algunos de los catálogos e inventarios temáticos y cartográficos utilizados.
- Selección de los fotogramas del vuelo 1:15.000 del Principado de Asturias.
- Impresión de los mapas 1:5.000 para el reconocimiento de campo con la superposición de las fuentes cartográficas anteriormente señaladas.
- Identificación previa de los elementos incluidos en los inventarios sobre las salidas gráficas 1:5.000 para su comprobación sobre el terreno.
- Identificación, mediante técnicas de fotointerpretación y de análisis de la cartografía, de zonas conflictivas o con alto grado de transformación que puedan entorpecer o dificultar la toma de datos en el campo.
- Planificación del trabajo de campo (análisis de la red viaria para el acceso, jornadas, personal, materiales necesarios, etc.)



Figura 97. Imagen de vuelo de 2003 del Polígono Industrial de Olloniego (Oviedo).

2.2.2.b. Reconocimiento de campo

El trabajo de campo supone el reconocimiento exhaustivo y sistemático de toda el área de análisis, es decir, del área afectada por algún tipo de peligrosidad por dinámica fluvial o marina y de las adyacentes a éstas afectadas por la dinámica torrencial.

La finalidad del trabajo de campo es catalogar e inventariar todos los elementos en riesgo, conforme a las categorías (grupos, clases y usos) establecidas para este trabajo, para poder estimar posteriormente los diferentes grados de vulnerabilidad dependiendo de las características del elemento afectado y de su exposición.



Figura 98. Reconocimiento de campo



Figura 99. Aspecto de un mapa tras el reconocimiento de campo (Langreo).

La recogida de datos en el campo se efectúa tomando como base las salidas gráficas elaboradas en la fase anterior, a la que se van incorporando los códigos y las delimitaciones de los usos identificados sobre el terreno. En el reconocimiento de campo para el inventario de elementos en riesgo se han invertido más de 200 jornadas.

2.2.2.c. Digitalización

Una vez finalizada la toma de datos en el campo se procede a su digitalización mediante diferentes herramientas informáticas. Para ello se ha utilizado el programa MicroStation[®] en su versión 8.0 de Bentley[®] para realizar las tareas de CAD. Las principales tareas de esta fase del trabajo son:

- Preparación de materiales para su correcta lectura a través de MicroStation[®]. Esto supone el escaneado, o la digitalizaciones en mesa, de la información disponible en formato analógico, la adaptación de formatos, etc
- Geo-referenciación de la cartografía digital, que no esté en coordenadas U.T.M
- Corrección geométrica de las fotografías aéreas.
- Restitución de los elementos a partir de la información recogida en los mapas de campo sobre la base del 1:5.000 del Principado de Asturias y con el apoyo del material complementario.

En la operación de restitución se toman los elementos incluidos en el área en riesgo directamente de la base cartográfica digital. Los elementos de nueva aparición serán tomados de la cartografía complementaria existente o se restituirán utilizando las fotografías aéreas, debidamente geo-referenciadas, del Vuelo 1:15.000 del Principado de Asturias de septiembre de 2003.

El resultado es un archivo en formato DGN que contiene los elementos en riesgo representados mediante una polilínea cerrada, dentro de la cual se sitúa una etiqueta de texto con el código de uso correspondiente.

A continuación, se identifican aquellos elementos que tienen usos superpuestos caso de puentes, viaductos, pasarelas, cruces para su posterior tratamiento en el sistema de información geográfica. En el caso de cruces entre infraestructuras viarias (carreteras) no se aplica este procedimiento ya que se ha considerado que prevalece el uso de la vía de mayor rango.

Por último se identifican los elementos incluidos en los inventarios complementarios de Bienes de Interés Cultural y Medios y Recursos del PLATERPA. Cabe señalar que existe un tratamiento diferenciado entre los elementos expuestos a la peligrosidad de inundaciones y los que no lo están. A los primeros se les asignará un código uso, conforme a la clasificación establecida mientras que, a los segundos, tan sólo se les identificará como elementos del catálogo de BIC y/o PLATERPA.

2.2.2.d. Tratamiento en el Sistema de Información Geográfica

Una vez que disponemos de la información digitalizada en formato digital (dgn de MicroStation[®]) se procede a su tratamiento con el software del Sistema de Información Geográfica, con el objeto de generar una capa en formato compatible con el resto de las que componen el proyecto y permitir el tratamiento conjunto posterior y la estimación de riesgo. El software SIG utilizado ha sido ArcGis versión 8.3. Las principales labores de esta fase son:

- Creación de la *Geodatabase* y de los *Datasets* de elementos en riesgo conforme a las especificaciones generales del proyecto.
- Importación del archivo “dgn” a la geodatabase. Esto implica la creación de dos clases de entidades (*feature class*) por archivo *dgn*: una para las líneas y otra para las etiquetas de los códigos.
- Corrección topológica de la *feature class* para asegurar la conectividad de las líneas, es decir, se comprueba que no existen nodos colgados que imposibiliten el cierre posterior de los polígonos.

identificarán los BIC con un código 1, los elementos del PLATERPA con código 2 y aquellos elementos pertenecientes a las dos categorías se les asigna el valor 3.

- Revisión: una vez que se ha preparado la información para su tratamiento con el sistema de información geográfica se realiza la revisión del inventario de usos. Se comprueba que no haya elementos en el área en riesgo sin codificar y se verifica que las relaciones topológicas sean correctas.

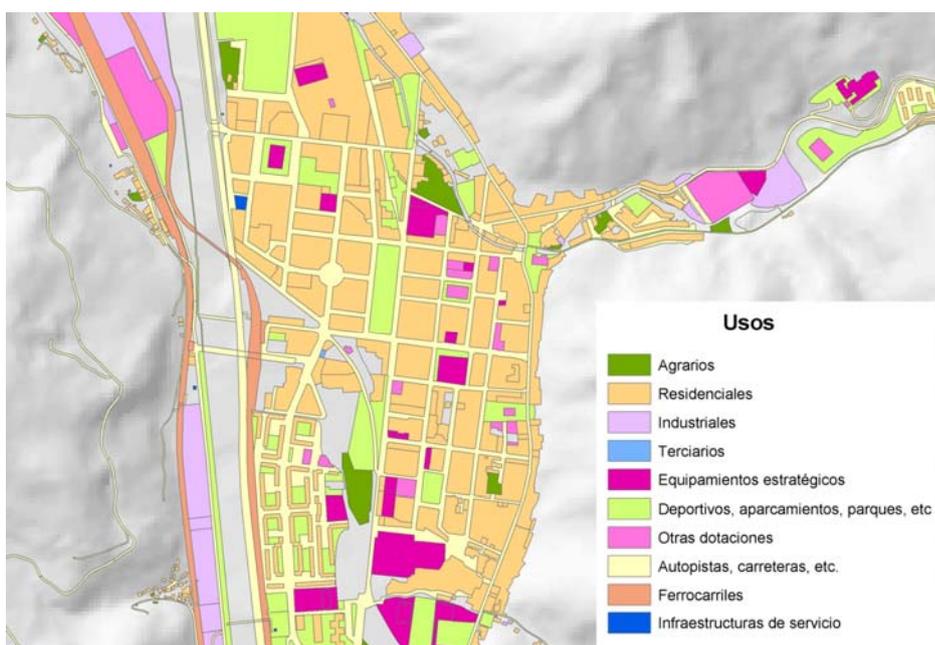


Figura 101. Mapa de usos del suelo representado con una leyenda abreviada (Mieres).

2.2.3. EXPLOTACIÓN DE LOS CATÁLOGOS DE BIC Y PLATERPA

Como veremos más adelante, el concepto de vulnerabilidad adoptado en el proyecto nos obliga a la inclusión de dos inventarios temáticos complementarios que formarán parte importante de la posterior estimación de la vulnerabilidad de cada elemento.

Por una parte, uno de los aspectos a tener en cuenta para el cálculo de la vulnerabilidad es que el elemento en riesgo sea estratégico y que su afección ante una inundación derive en la merma de la capacidad de respuesta de las estrategias planificadas a priori por los organismos competentes. Para ello hemos realizado el inventario de Medios y Recursos adscritos al Plan Territorial de Protección Civil del Principado de Asturias (PLATERPA).

Por otra, en el cálculo de la vulnerabilidad también se tiene en cuenta si el elemento en riesgo está catalogado como Bien de Interés Cultural (BIC) de forma que se considere dicha condición atendiendo a la irremplazabilidad y la grave pérdida patrimonial que representa la afección a estos elementos.

2.2.3.a. Inventario de Medios y Recursos adscritos del PLATERPA

La elaboración de este inventario responde a un doble objetivo. Por un lado, se pretende considerar la inclusión en el PLATERPA de algunos de los elementos en riesgo ya que ésta afectará al cálculo de la vulnerabilidad y con ello al mapa definitivo de riesgos y, por otro, proporcionar una cartografía de medios y recursos adscritos al PLATERPA que contribuya a mejorar y optimizar la capacidad de reacción del organismo gestor.

Tomando como base el listado de Medios y Recursos facilitado por el 112 Asturias, se ha realizado una selección de aquellos elementos que sirven de base para la organización de los grupos de acción y de la capacidad de respuesta ante un riesgo de inundación. Para dicha selección se han tenido en cuenta:

- La importancia del medio o recurso en la medida en que articula o influye la capacidad de respuesta.
- Que los elementos se correspondieran con una localización física bien definida en el territorio.

El resultado de esta selección se recoge en la Tabla 68. En resumen, se han eliminado aquellos medios y recursos que se corresponden con localizaciones de personas físicas (domicilios particulares), como es el caso del personal técnico, así como los inventarios de medios materiales, maquinaria y elementos de obras públicas y servicios básicos de abastecimiento entre otros, al entender que la localización de los mismos superaba las expectativas del proyecto.

Para realizar las tareas de localización se han utilizado como apoyo diversas fuentes y censos temáticos territoriales. Como son el Mapa de Recursos Formativos del Principado de Asturias (MRFP), Mapa de Recursos Sociales del Principado de Asturias y el Mapa de Recursos Sanitarios del Principado de Asturias. Para aquellos medios y recursos no localizables a través de las fuentes territoriales existentes se ha recurrido al trabajo de campo.

Con todo, se han detectado algunos problemas en la localización de los elementos de las categorías seleccionadas que han hecho imposible la localización de todos ellos. El listado de estos elementos se recoge en la Tabla 69.

DENOMINACIÓN	NÚM DE ELEMENTOS
00000000 Ayuntamientos	78
00000001 Mancomunidad	13
12000000 Grupos operativos de intervención	1
12100000 Bomberos	16
13100000 Guardia civil	42
13200000 Cuerpo nacional de policía	7
13400000 Policía local	46
14100000 Agrupaciones de voluntarios de protección civil	16
14500000 Cruz roja	17
31300000 Aeropuertos	1
31600000 Puertos marítimos	26
31700000 Estaciones de autobuses	1
33000000 Centros sanitarios y/o funerarios	245
33100000 Establecimientos hospitalarios	18
33200000 Ambulatorios	7
33300000 Tanatorios	9
34000000 Lugares de albergue y almacenamiento	10
34100000 Centros de hospedaje	16
34110000 Centros de hospedaje mas de 50 camas y con servicio de cocina	76
34130000 Centros de hospedaje mas de 50 camas y sin servicio de cocina	1
34200000 Centros educativos, de tercera edad, culturales y de ocio	217
34300000 Instalaciones diáfnas cubiertas	74
35110000 Centros de gestión y coord. de protección civil de ámbito municipal	1
35130000 Centros de gestión y coord. de protección civil de ámbito autonómico	1
37000000 Recursos hídricos	83

Tabla 68. Categorías del Inventario de Medios y Recursos del PLATERPA incorporadas al catálogo de elementos en riesgo.

MUNICIPIOS	CLAVE	ESTABLECIMIENTO	OBSERVACIONES
-	san0259	Hospital de Valdecilla	Fuera de Asturias
-	man0012	Mancomunidad de la zona Suroriental de Asturias	No Existe
Allande	pis0001	C F Campo del Rio	No Localizado
Aller	alb0354	Centro de recursos de Aller	No Localizado
Aller	alb0443	Agrupacion montañera astur torrecedredo	No Localizado
Aller	vol0017	Club Moto Racing	No Localizado
Bimenes	gua0014	Guardia Civil de Bimenes	Fuera de Servicio
Bimenes	vol0009	Agrupación Municipal de Voluntarios de Bimenes	No Existe
Cabrales	alb0451	ALBERGUE PEÑA CASTIL	No localizado
Cangas de Onis	fun0004	Funeraria Carbajal	Fuera de servicio
Cangas de Onis	man0005	Mancomunidad de Cangas de Onis, Onis, Amieva, Ponga	No localizado
Candamo	san0205	Centro de salud de Figaredo	Concejo de Mieres
Castrillon	gua0016	Guardia Civil de El Puerto	No existe
Caso	alb0196	La Lastra **	No Localizado
Corvera de Asturias	dep0038	Polideportivo Santa Cruz de Mieres (polideportivo de La Barraca)	Concejo de Mieres
Degaña	alb0027	CP Francisco González Fernández	No existe
Gijón	alb0032	CP Cabueñes	No Localizado
Gijón	alb0388	CP ALFONSO CAMIN	Duplicado cod alb0035
Gijón	pis0024	Urbanización Vegagrande	No Localizado
Gijón	san0161	Centro de salud Laviada	No Localizado
Langreo	san0234	Ambulatorio del Valle del Nalon	Cambio de localización
Langreo	gua0011	Guardia Civil de Tuilla	No Existe
Langreo	gua0013	Guardia Civil de Cíaño	No Existe
Laviana	san0240	Centro de salud de Laviana	Cambio de localización
Llanes	for0009	Consejería de medio rural y pesca, guardas forestales de Llanes	No Localizado
Mieres	emb0018	Confederación Hidrográfica del Norte (Embalse de Sandin)	No Localizado
Mieres	san0215	Consultorio periférico de Lago	No Localizado
Morcín	dep0039	Pabellón polideportivo de Las Mazas	No Existe
Nava	pis0038	La Ferreira	No Existe
Oviedo	pol0033	Policía Local de Oviedo (Centro de Control de Trafico)	Incluido en pol0034
Oviedo	san0107	Consultorio periférico de Olloniego	Cambio de localización
Oviedo	alb0157	La Jirafa	Fuera de Servicio
Oviedo	pis0043	Fabrica nacional de Trubia	Fuera de Servicio
Oviedo	pis0054	Sociedad cultural y recreativa	Duplicado cod pis0052
Parres	for0017	Consejería de medio rural y pesca, guardas forestales de Arriendas	No Localizado
Peñamellera Alta	gua0006	Guardia Civil de Alles	No Existe
Piloña	pis0056	Polideportivo de Infiesto	Duplicado con pis0055
Pravia	for0011	Consejería de medio rural y pesca, guardas forestales de Pravia	No Localizado
Proaza	alb0102	CRA Santullano	No localizado
Quiros	alb0141	El Llano	Duplicado cod alb0153
Salas	alb0062	CP Juan Rodríguez Muñiz	Concejo de Oviedo
San M. del Rey Aurelio	tre0001	FEVE	Concejo de Siero
Siero	san0121	Consultorio periférico de Sariego	Concejo de Sariego
Siero	nac0007	Comisaría del Cuerpo Nacional de Policía	Cambio de Localización
Soto del Barco	san0015	Consultorio periférico de Carcedo	Concejo de Valdes
Tineo	alb0006	Albergue Ca'l Teso	No Localizado
Tineo	fun0009	Funeraria Sindo	No existe
Vegadeo	pis0081	Piscina municipal de Vegadeo	No existe
Vegadeo	vol0002	Agrupacion de Voluntarios de Proteccion Civil de Vegadeo	No Localizado
Villanueva de Oscos	san0230	Unidad de psiquiatria	Concejo de Mieres
Villaviciosa	gua0027	Guardia Civil de Villaviciosa	No Localizado

Tabla 69. Elementos no localizados y problemas detectados en el catálogo de elementos del Inventario de Medios y Recursos del PLATERPA.

2.2.3.b. Catálogo de Bienes de Interés Cultural

Como ya hemos señalado, se ha realizado un inventario de Bienes de Interés Cultural al entender que son elementos especialmente vulnerables ante una inundación, que gozan de una protección especial por parte de la administración y que son elementos considerados singulares del territorio por razones históricas, culturales o geográficas.

En una primera fase del proyecto se pensó en incluir todos aquellos inmuebles y elementos del territorio que estuvieran incluidos en el Inventario de Patrimonio Arquitectónico del Principado de Asturias (IPPA), pero el alto número de elementos catalogados y la falta de una base de datos territorial que proporcionase una localización geográfica precisa hacía que esta labor desbordase las posibilidades del proyecto. En su defecto se optó por inventariar los elementos patrimoniales que gozan de una protección máxima, los Bienes de Interés Cultural.

Para la elaboración del inventario se ha tomado como base la relación de Bienes de Interés Cultural facilitada por la Dirección General de Cultural de los que se han exceptuado los elementos naturales y cuevas, así como los entornos de protección de elementos aunque, en este caso sí se ha cartografiado el elemento o elementos que generan el entorno.

Se han localizado sobre la base topográfica del 1:5.000 del Principado, tanto los elementos declarados BIC como los que están en fase de tramitación administrativa o expedientes incoados, al gozar éstos últimos, de la aplicación provisional del mismo régimen previsto para los Bienes de Interés Cultural Declarados.

2.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

2.3.1. EL CONCEPTO DE VULNERABILIDAD ADOPTADO

Como se ha señalado al principio de este capítulo, es habitual que la definición de vulnerabilidad de los trabajos científicos y técnicos varíe notablemente tanto en función de los objetivos perseguidos, como de la información disponible.

Así, podemos encontrar varias definiciones del término (Nakamura, 2001) que abarcan desde aquéllas que priman las características pasivas de un sistema ante una amenaza, donde el término se aproxima al concepto de resiliencia

aplicado a los ecosistemas, hasta las que se basan en la capacidad de los sistemas de proporcionar una adecuada respuesta a las situaciones de crisis.

En nuestro caso, se ha considerado que la vulnerabilidad de los elementos depende de su sensibilidad o fragilidad ante la exposición a un evento de inundación y del impacto o la importancia que la afección o la pérdida de ese elemento tendrá en el sistema (impacto social).

Se comparte, por tanto la idea expresada en el informe del SNET (2003) en el que, a la hora de valorar la vulnerabilidad de los elementos en riesgo, debe atenderse no sólo al volumen de pérdidas económicas o materiales sino también a la importancia del elemento dentro del desarrollo social y económico, es decir, como afecta el daño a ese elemento a la sostenibilidad social.

Asimismo, se considera que, tal y como señala Cardona (2001), la evaluación de la vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el grado de susceptibilidad y predisposición al daño de un elemento o grupo de elementos expuestos ante una amenaza particular, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos elementos con el ambiente peligroso. Los elementos expuestos, o en riesgo, son el contexto social y material representado por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la manifestación de un suceso (actividades humanas, sistemas realizados -edificios, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios- y la gente que los utiliza).

Este concepto influirá en la composición de los índices para cada tipo de vulnerabilidad considerada ya que el valor para cada clase se pondera por comparación con el resto dentro del contexto socio-económico en el que se encuentra. Pero también influye de forma decisiva en la creación del indicador agregado de vulnerabilidad otorgando mayor peso a aquellos tipos de vulnerabilidad con mayor impacto social (afección a las personas).

2.3.2. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

2.3.2.a. Componentes del indicador de agregado de vulnerabilidad

En consecuencia con lo señalado en el apartado anterior, la vulnerabilidad total de los elementos incluidos en cada uno de los tipos de elementos diferenciados en el inventario se ha concebido como un indicador agregado, compuesto, básicamente, por otros tres indicadores de carácter primario que representan información sobre la vulnerabilidad en tres ámbitos diferentes, pero complementarios:

- La **VULNERABILIDAD ECONÓMICA** de cada tipo de uso ante una inundación. A su vez para la estimación de la vulnerabilidad económica se ha distinguido entre **VULNERABILIDAD ECONÓMICA**

DIRECTA (VED) y VULNERABILIDAD ECONÓMICA INDIRECTA (VEI).

- La VULNERABILIDAD DE LA POBLACIÓN (VP) ante este fenómeno, es decir, el riesgo de padecer la pérdida de vidas humanas o de ocasionar graves lesiones a las personas.
- La MERMA EN LA CAPACIDAD DE RESPUESTA ante el propio fenómeno y la INTERRUPCIÓN DE LA PROVISIÓN DE SERVICIOS de carácter público y privado. De un modo genérico se podrían agrupar los dos indicadores citados bajo la denominación de VULNERABILIDAD COLECTIVA (VC) ya que lo que se pretende valorar es cómo la afección de la inundación incide en el normal funcionamiento de la vida cotidiana para una comunidad.

Temporalmente, las reflexiones y consideraciones previas para elaborar el indicador agregado de vulnerabilidad se han desarrollado paralelas a la labor de clasificación de los elementos en riesgo (descritas en el punto 2.1 de este mismo apartado) ya que ambos aspectos se encuentran estrechamente relacionados.

El indicador final, al que hemos denominado *Indicador agregado de vulnerabilidad* (IAV), se calcula mediante la ponderación de los indicadores primarios considerados. Finalmente, para aquellos elementos que tienen la condición de Bienes de Interés Cultural (BIC), se incrementa el valor de la ponderación con una cantidad fija.

Así, el IAV adopta valores comprendidos entre 0 (elementos no vulnerables) y 1, que representa la situación más desfavorable en la que los elementos poseen los valores máximos en los indicadores primarios y además se encuentran catalogados como BIC.

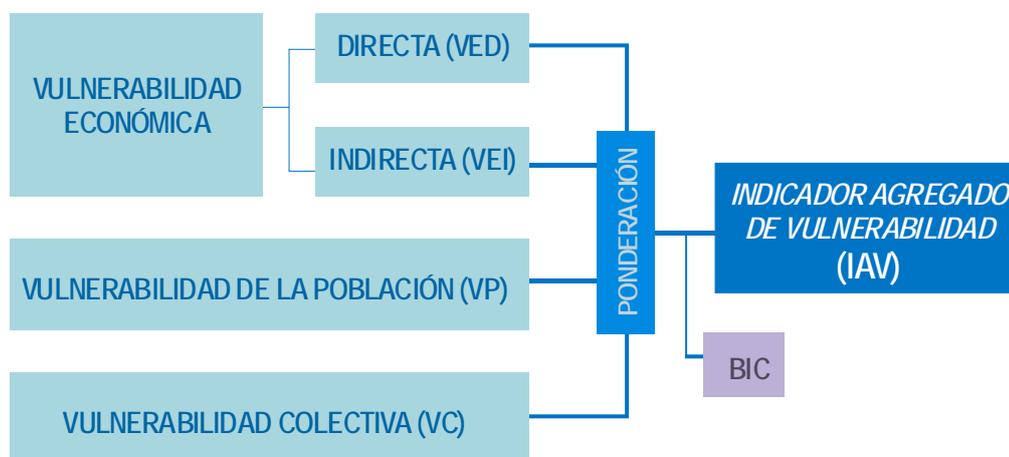


Figura 102. Construcción de indicador agregado de vulnerabilidad

2.3.2.b. Indicadores de vulnerabilidad económica

Fuentes para la estimación de las pérdidas monetarias

El daño económico directo que una inundación puede provocar sobre los distintos usos del territorio presenta un amplio rango de dispersión. Los daños monetarios, por unidad de superficie afectada, varían notablemente de los usos agrarios a los residenciales, de los terciarios a los industriales o de las infraestructuras a los equipamientos dotacionales.

A diferencia de los otros dos indicadores que conforman el IAV, el referido a los daños económicos requiere dos etapas de elaboración. La primera de ellas, requiere analizar los valores monetarios directos que representan las pérdidas (por unidad de superficie) causadas por una inundación en cada uso del territorio. Una vez obtenidos los montantes de tales pérdidas por unidad de superficie afectada, es posible construir un sistema de indicadores de daño directo (con valores entre 0 y 1) que representen el grado de vulnerabilidad económica directa de cada uso, en términos relativos respecto al uso susceptible de tener la mayor vulnerabilidad económica directa de todos.

Por tanto, una primera aproximación a la vulnerabilidad económica se ha obtenido a través de la obtención de las cantidades monetarias máximas de daño directo que pueden originarse en Asturias como consecuencia de una inundación.

Las fuentes de las que provienen los datos monetarios son diversas. En primer lugar, el *Consortio de Compensación de Seguros*, dada su labor como prestador de la cobertura por riesgos extraordinarios en España (entre los cuales se encuentran los fenómenos naturales), dispone de los datos referentes a las indemnizaciones pagadas en Asturias, desde 1995 hasta 2002 por inundaciones. Estas cuantías aparecen diferenciadas según *clase de riesgo*, es decir, según la categoría de bienes afectados, que son agrupados en 5 grandes grupos²⁶:

- Comercios, almacenes y resto de servicios
- Industria
- Vehículos automóviles
- Viviendas y comunidades de propietarios
- Oficinas

Dichas indemnizaciones no aparecen asociadas a las superficies dañadas y se ofrecen en euros corrientes de cada año. La Tabla 70 recoge los importes a que ascendieron las indemnizaciones pagadas por en *Consortio*, la superficie media que se ha asociado a cada tipo de uso, y los importes medios y máximos pagados a lo largo de los 8 años tenidos en cuenta. Estas últimas cantidades, a efectos de

²⁶ Existe también un sexto grupo denominado “*Obras civiles*” del que apenas se disponía de datos recogidos.

su posterior utilización en la elaboración del indicador de vulnerabilidad económica, se han recogido en términos de superficie esperada según cada uso (por metro cuadrado) y homogeneizadas en euros constantes del año 2002.

En relación a otros tipos de usos del suelo (Tabla 71), como son básicamente los agrarios, las infraestructuras y los espacios de ocio y esparcimiento al aire libre, los valores asociados a las pérdidas máximas directas provocadas por una inundación se han obtenido de fuentes diversas. En los casos en que estas cantidades han sido tomadas con referencia a cálculos hechos en estudios europeos previos, se ha procedido a incorporarlas aplicándoles, por un lado, las paridades de poder de compra entre el correspondiente país y España para el periodo contemplado, y por otro lado, el efecto de la inflación en España desde dicho momento hasta 2002.

CLASE DE RIESGO	AÑO	IMPORTE MEDIO	IMPORTE MÍNIMO	IMPORTE MÁXIMO	SUPERFI. MEDIA SEGÚN USO m ²	IMPORTE MEDIO POR m ²	IMPORTE MÁXIMO POR m ²	IMPORTE PROMEDIO POR m ² 1995-2002	IMPORTE MÁXIMO PROMEDIO POR m ² 1995-2002
COMERCIOS, ALMACENES Y RESTO DE SERVICIOS	1995	4.816,18	322,38	13.459,12	500	9,63	26,92	6,96	32,89
	1996	3.068,76	111,55	11.544,78		6,14	23,09		
	1997	2.436,08	89,00	12.689,63		4,87	25,38		
	1998	2.637,15	248,42	6.047,44		5,27	12,09		
	1999	2.358,98	95,30	11.885,74		4,72	23,77		
	2000	2.420,97	233,86	8.833,53		4,84	17,67		
	2001	5.788,11	202,20	53.615,35		11,58	107,23		
	2002	4.327,30	297,00	13.496,00		8,65	26,99		
INDUSTRIALES	1995	16.460,78	1.394,59	24.779,61	2500	6,58	9,91	8,96	37,20
	1996	19.128,94	138,79	105.628		7,65	42,25		
	1997	78.124,18	1.297,32	478.195		31,25	191,28		
	1998	19.405,11	280,37	35.756,53		7,76	14,30		
	1999	18.457,53	7.807,30	32.475,86		7,38	12,99		
	2000	7.090,37	223,18	16.678,47		2,84	6,67		
	2001	8.736,88	476,58	25.093,46		3,49	10,04		
	2002	11.807,33	2.474,00	25.460,00		4,72	10,18		
VEHÍCULOS AUTOMÓVILES	1995	4.572,75	2.174,85	8.395,75	25	182,91	335,83	94,38	189,78
	1996	1.478,20	377,18	5.298,57		59,13	211,94		
	1997	719,47	332,90	1.445,14		28,78	57,81		
	1998								
	1999	1.315,86	456,30	2.224,48		52,63	88,98		
	2000	3.884,62	1.406,35	6.362,89		155,38	254,52		
	2001	2.185,37	300,60	4.740,58		87,41	189,62		
	2002								
VIVIENDAS Y COMUNI. DE PROPIETARIOS	1995	1.197,54	348,69	1.829,21	80	14,97	22,87	16,83	66,71
	1996	1.254,73	93,48	6.294,55		15,68	78,68		
	1997	1.746,99	478,08	7.472,41		21,84	93,41		
	1998	1.294,23	109,96	3.511,70		16,18	43,90		
	1999	763,38	19,49	1.973,52		9,54	24,67		
	2000	1.086,22	24,43	2.423,64		13,58	30,30		
	2001	1.439,17	79,46	11.574,81		17,99	144,69		
	2002	1.987,25	167,00	7.613,00		24,84	95,16		
OFICINAS	1995				200			22,73	32,29
	1996	871,13	871,13	871,13		4,36	4,36		
	1997	9.762,40	643,52	18.881,27		48,81	94,41		
	1998								
	1999	3.522,07	1.521,62	5.188,65		17,61	25,94		
	2000	10.643,58	10.643,58	10.643,58		53,22	53,22		
	2001	1.598,73	913,61	2.283,85		7,99	11,42		
	2002	883,00	883,00	883,00		4,42	4,42		

Tabla 70. Importes indemnizados por el consorcio de compensación de seguros en Asturias por daños provocados por inundaciones entre 1995 y 2002.

Fuente: Ep. a partir de los datos facilitados por el Consorcio de Compensación de Seguros

USO	CUANTÍAS MÁXIMAS POR m ² (EN EUROS DE 2002)	FUENTE DE DATOS PARA EL CÁLCULO
OFICINAS	32,29	Elaboración propia ⁽¹⁾
VIVIENDAS Y COMUNIDADES DE PROPIETARIOS	66,71	Elaboración propia ⁽¹⁾
VEHÍCULOS AUTOMÓVILES	189,78	Elaboración propia ⁽¹⁾
INDUSTRIALES	37,2	Elaboración propia ⁽¹⁾
COMERCIOS, ALMACENES Y RESTO DE SERVICIOS	32,89	Elaboración propia ⁽¹⁾
LEGUMINOSAS GRANO	0,0396	AGROSEGURO ⁽²⁾
EXPLOTACIONES FRUTÍCOLAS	0,7106	AGROSEGURO ⁽²⁾
UVA DE VINIFICACIÓN	0,1716	AGROSEGURO ⁽²⁾
MONOCULTIVOS HERBÁCEOS	0,0419	AGROSEGURO ⁽²⁾
HORTALIZAS	1,025	AGROSEGURO ⁽²⁾
MANZANA DE SIDRA	0,016	ENESA e INE ⁽³⁾
JUDÍAS SECAS	0,2289	ENESA e INE ⁽³⁾
PATATAS	0,5358	ENESA e INE ⁽³⁾
INVERNADEROS	22,5	RWS; EUROSTAT e INE ⁽⁴⁾
CARRETERAS PAVIMENTADAS	6,4	FECEA ⁽⁵⁾
CARRETERAS NO PAVIMENTADAS	3,03	FECEA ⁽⁵⁾
MACIZOS DE JARDÍN (reposición completa)	5,41	FECEA ⁽⁵⁾
MOBILIARIO URBANO (reposición completa)	450	FECEA ⁽⁵⁾
ÁRBOLES EN ZONAS EDIFICADAS	0,7	FECEA ⁽⁵⁾
CÉSPED EN ZONAS EDIFICADAS (resiembra)/(rep. comp.)	0,93 / 2,75	FECEA ⁽⁵⁾
COSTES DE LIMPIEZA ⁽⁷⁾	0,41	FECEA ⁽⁵⁾
COSTES DE LIMPIEZA DE VIAS ⁽⁷⁾	0,21	Principado de Asturias ⁽⁶⁾

Tabla 71. Cuantías máximas de pérdidas económicas directas provocadas por inundaciones según usos.

Fuente: elaboración propia

(1) A partir de los datos de indemnizaciones por inundaciones en Asturias, serie 1995-2002, del Consorcio de Compensación de Seguros según se recoge en la Tabla 70. (2) Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados S.A.; Informe anual 2002. (3) Entidad Nacional de Seguros Agrarios; Datos agrícolas del Plan 2002; Precios unitarios para pago de las indemnizaciones en caso de siniestro. Instituto Nacional de Estadística; Inebase, Producción agrícola. (4) Ministerio Holandés de Transportes (RWS); EUROSTAT, Paridades de poder de compra en la UE; Instituto Nacional de Estadística, Serie IPC base 2001. (5) Fundación de Estudios para la Calidad en la Edificación del Principado de Asturias, Base de Precios de la Construcción, Asturias 2000. (6) Servicio de Conservación Vial de la Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias. (7) Son considerados en realidad costes económicos indirectos, pero se incluyen en esta tabla a efectos informativos.

El indicador de vulnerabilidad económica directa (VED)

El *indicador de vulnerabilidad económica directa (VED)*, una de las dos partes que componen el *indicador de vulnerabilidad económica*, recoge el valor económico relativo (entre 0 y 1) de las pérdidas directas provocadas por la inundación, es decir, aquellos costes generados como fruto de las reparaciones y reposiciones de estructuras y contenidos de edificios, de infraestructuras, de vehículos, de cosechas, etc.

Una vez estimadas las pérdidas monetarias por metro cuadrado para cada tipo de uso, se procedió a asignar estos valores a la clasificación de usos utilizada en el inventario de elementos en riesgo. Dado el gran número de usos

diferenciados, resulta muy difícil encontrar valores monetarios del daño potencial que una inundación puede provocar en todos ellos. No obstante, consideramos que se han obtenido valores significativos para un gran número de categorías, mientras que para el resto se ha optado por estimar los costes por combinación o asimilación a los disponibles.

Por último, los valores VED se obtienen al comparar, en términos relativos, los valores de las pérdidas potenciales por unidad de superficie de cada uso afectado con la pérdida experimentada por el uso más afectado (la mayor pérdida monetaria que cabe esperar). En concreto, según los datos disponibles, las mayores pérdidas monetarias que potencialmente puede causar una inundación se producen en la categoría de “edificación residencial unifamiliar con vivienda en planta baja” y en “hoteles y alojamientos de turismo”.

Tanto las estimaciones de las pérdidas monetarias por metro cuadrado como los valores del VED para cada tipo de uso diferenciado se recogen en la

Usos agrarios y vinculados al cauce (grupo 1)

En general, las pérdidas monetarias por los daños a los usos agrarios son bajas en términos relativos, es decir, comparándolas con las cuantías que pueden llegar a originarse en otros usos ante una inundación. No obstante, existen en esta primera categoría una clase de usos cuyas cuantías máximas de daños pueden ser importantes, las piscifactorías (código 131), que han sido tratadas bajo los mismos criterios que una industria.

Usos residenciales (grupo 2)

La categoría de usos residenciales es una de las que recoge los valores más altos del indicador de vulnerabilidad económica directa. En general, esto se explica por el alto valor por unidad de superficie (m²) de los contenidos albergados en las edificaciones de este tipo, especialmente en la vivienda unifamiliar (código 220).

En el resto de casos, la presencia de comercios, equipamientos o garajes en las plantas bajas de los edificios hace que, aunque en menor grado, las pérdidas materiales esperadas sean también altas o moderadamente altas. Por ejemplo, en el caso de las tipologías de Edificación en bloque (código 210), dado que se trata de una categoría muy heterogénea, para la estimación de la vulnerabilidad económica directa se ha entendido que los usos potencialmente afectados por la inundación en estas edificaciones se reparten entre el residencial (25 %), comercial (45 %), auxiliar de la vivienda (15 %) y aparcamiento subterráneo (15 %). Con ello se pretende recoger en la valoración toda la diversidad asociada a esta tipología edificatoria.

Otra de las clases que presenta bastantes dificultades en su valoración es la de *Áreas con predominio de uso residencial* (Clase 23). Al tratarse de bolsas que incluyen elementos de diferente naturaleza, para el cálculo del VED, se ha optado por combinar, en las oportunas proporciones, valores correspondientes a los usos

representados en dichas áreas. Debe tenerse en cuenta que, para que la delimitación de estas áreas fuera lo más homogénea posible, no se han incluido los elementos calificados como equipamientos o que presentan una tipología no acorde con la definición del uso. En la tabla siguiente se recogen las proporciones de los diferentes usos considerados para la estimación del VED en los cuatro tipos de áreas con predominio de uso residencial diferenciadas.

USO		FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DE VED
231	CON TIPOLOGÍA PREDOMINANTE EN BLOQUE	20% residencial (210) + 40% comercial + 15% auxiliar vivienda + 15% aparcamiento subterráneo + 10% 621
232	CON TIPOLOGÍA PREDOMINANTE UNIFAMILIAR	50% residencial (220) + 20% jardín + 30% auxiliar de la vivienda
233	CON TIPOLOGÍA MIXTA	60% predominante bloque (231)+ 40% predominante unifamiliar (232)
234	ÁREA DE POBLAMIENTO RURAL	45% residencial (220) + 5% huertos + 25% edificación agraria + 15% otras vías + 10% comercial

Tabla 72. Estimación de VED para la clase 23, Áreas con predominio de uso residencial.

Así por ejemplo, en los usos codificados como “Áreas de poblamiento rural” se ha considerado que, por término medio, un 45 % de la superficie delimitada estaría ocupada por usos residenciales con vivienda en planta baja, un 25 % por edificación agraria (cuadras, pajares, etc.), un 15 % por vías, un 10 % usos terciarios (bares, tiendas, etc.) y un 5% por sembrados y huertos.

La última clase diferenciada dentro del grupo de usos residenciales es la denominada “*Otras edificaciones vinculadas al uso residencial*” (clase 24). En ella se incluyen algunas tipologías susceptibles de sufrir desperfectos de cierta envergadura como las edificaciones “*auxiliares de la vivienda*” (241), especialmente las que se refieren a cocheras, trasteros así como los “*depósitos de combustibles*” (242). En estos casos, dada la alta probabilidad de afección a bienes mecanizados (calderas, coches, motos, etc.) se ha imputado al indicador un valor relativamente alto. El otro grupo de usos que componen esta clase son tipologías residenciales cuya principal característica es la fragilidad estructural y su reducida superficie (usos 243 y 244).

Usos industriales (grupo 3)

La industria presenta una vulnerabilidad económica directa (por unidad de superficie) de tipo moderado: dado que los bienes de equipo y los productos industriales suelen asentarse sobre grandes superficies de terreno (promedio de 2.500 metros cuadrados), su valor se ve reducido al ser contemplado en términos de coste por unidad de superficie. El valor obtenido se ha aplicado al uso 330, “*Instalaciones industriales aisladas*” (así como a los usos 340 y 350 que también

tienen la consideración de aislados) y, a su vez, ha servido de base para la estimación del VED del resto de las tipologías de este grupo.

En el apartado de la minería, en aquellos casos en que a la hora de delimitar el uso es imposible dividir las zonas de depósitos de materiales de las propiamente mecanizadas, se ha realizado una imputación proporcional del valor de las pérdidas según el porcentaje de ocupación de suelo para uso industrial y de depósito de mineral o escombrera. Así, para el caso de la “Minería subterránea (pozos)” se ha interpretado que aproximadamente un 30 % del uso minero delimitado es propiamente industrial, mientras que el 70 % restante se destina a escombreras²⁷ y almacenamientos de mineral. Un razonamiento paralelo se ha aplicado al caso de las canteras y explotaciones mineras al aire libre, par las cuales se ha considerado que aproximadamente sólo el 10 % de la delimitación del uso está destinado a mecanización industrial, destinándose el resto a escombreras a almacenamientos de material.

En segundo lugar, en el caso de las zonas tipificadas como “Áreas industriales ocupadas” se ha considerado que un 20 % de la superficie así delimitada está destinada a otros usos diferentes a los productivos. Estas superficies se han valorado como “Otros viales y áreas pavimentadas” (código 621), quedando el resto codificado y valorado, a efectos del VED, como uso industrial (330).

Finalmente, a las “Áreas industriales por desarrollar” se les ha imputado como valor monetario de las pérdidas por metro cuadrado el equivalente al 20 % del valor dañado en las áreas industriales ya ocupadas, al entender que las primeras, aunque carecen de asentamiento industrial propiamente dicho, gozan ya de ciertos equipamientos e infraestructuras necesarias para el futuro desarrollo de un área industrial.

Usos terciarios (grupo 4)

Dentro de la tipología destinada a usos terciarios, los “Hoteles, hostales y similares” (uso 421) son los que adoptan una valor máximo del indicador de daños económicos directos (valor de VED igual a 1), entendiendo que dicho uso presenta una vulnerabilidad de este tipo máxima, equiparable en pérdidas de estructura y contenidos a la que puede darse en una residencia unifamiliar con vivienda en planta baja incrementado con el carácter productivo al que se destina el inmueble.

En segundo lugar, un tratamiento algo más complejo han tenido los “Campamentos de turismo” (uso 422), dada la distinta naturaleza de los elementos que los integran. Por este motivo se ha decidido elaborar la cifra esperada de pérdidas máximas directas ocasionadas por una inundación

²⁷ A las escombreras se les ha otorgado un valor monetario de daño más bien simbólico, e igual a 0,34 céntimos por metro cuadrado.

combinando, en las oportunas proporciones de superficie ocupada, los valores existentes para cada uso diferenciado. Para ello se ha acudido a la regulación sectorial regional de este tipo de actividad. Al igual que en otros casos la estimación de la vulnerabilidad se ha realizado atendiendo a las pérdidas potenciales máximas. De esta manera se ha considerado, que, de la superficie total delimitada como campamento de turismo, un 75% de ella se destina a parcelas de acampada, ocupadas por tiendas, caravanas, bungalows y, en su caso, vehículos, usos equiparables a los de “*Otras construcciones con uso residencial*” (uso 243). Además, se ha supuesto que un 10 % de la superficie se puede equiparar, en términos de valor potencial de la pérdida, a un “*Parque urbano*” (uso 531), dada la existencia dentro de estos recintos de espacios de parque infantil, bancos, farolas, fuentes, etc. En tercer lugar, también se ha considerado que otro 10 % de la superficie del campamento puede destinarse a un uso exclusivamente terciario, en el que se engloban las instalaciones administrativas, supermercado, restaurante, etc. Por último, se ha dejado un porcentaje residual del 5 % de la superficie para ser tratado como “*Otros viales y áreas pavimentadas*” (código 621), que configurarían los accesos y vías rodadas del interior del campamento turístico.

Finalmente, los usos propiamente terciarios como la “*Instalaciones de uso comercial*” (uso 410) y los “*Otros usos terciarios*” (uso 430) adoptan el valor (en torno a 0,5) derivado de aplicar las cuantías calculadas máximas recogidas en la Tabla 71.

Dotaciones y equipamientos (grupo 5)

Con carácter general, los elementos que integran el grupo de “*Dotaciones y equipamientos*” han sido valorados con arreglo a la cuantía de pérdida máxima esperada para servicios (32,89 euros según la Tabla 71), que implica un valor moderado del indicador VED (igual a 0,49).

No obstante, existen dentro de este grupo numerosos elementos de más compleja valoración. El primero de estos elementos son los codificados bajo la denominación de “*Equipamientos deportivos*” (clase 52). En este caso, los que están al aire libre han sido tratados a través de una sobre-valoración de las pérdidas sufridas en vías asfaltadas, ya que básicamente estos elementos se componen de terrenos pavimentados a los que se pueden añadir las pérdidas ocasionadas en algún tipo de mobiliario deportivo como porterías, redes, canastas, etc. Por otro lado, a los equipamientos deportivos edificados se les ha imputado como pérdida potencial el 50 % de la que puede producirse en el resto de dotaciones y equipamientos comunes.

La segunda clase que presenta cierta complejidad de valoración es la de “*Dotaciones de ocio y recreo al aire libre*” (clase 53). En general, las pérdidas potenciales asociadas a estos usos se han considerado bajas (indicador no superior a 0,15), excepto en el caso de los “*Parques urbanos*” (uso 531). Para éstos últimos, de nuevo se ha acudido a realizar una combinación del valor de las

pérdidas máximas que pueden sufrir los elementos susceptibles de estar acogidos bajo dicha denominación. En concreto, se ha considerado que un 50 % de la superficie puede estar ocupada por césped, un 15 % por árboles, un 20 % por áreas ajardinadas, un 10 % por caminos y un 5 % por mobiliario urbano de diverso tipo (farolas, instalaciones de juegos infantiles, bancos, fuentes, etc.). Todas estas fracciones se han valorado conforme a las cifras de la Tabla 71. En cuanto a los usos de “*Paseos y sendas*” (533) y “*Áreas recreativas*” (532) se les han imputado unas pérdidas potenciales menores, en todo caso, a las que potencialmente se pueden sufrir por metro cuadrado en un parque urbano.

Por lo que se refiere a la clase 54, “*Aparcamientos*”, se ha considerado que los subterráneos (541) son susceptibles de ocasionar pérdidas económicas directas del mismo tipo que las producidas por la inundación en una cochera, si bien incrementadas en un 20 % al entender que el agua puede quedar más fácilmente estancada en los pisos inferiores de un aparcamiento subterráneo y, por tanto, agravar las pérdidas económicas. En las áreas de aparcamiento al aire libre la afección se limitaría a los vehículos estacionados, con lo que las pérdidas serían menores a las de un uso auxiliar a la vivienda donde se almacenarían otros bienes y enseres.

Por último, en lo que se refiere a “*Dotaciones y equipamientos especiales*” (clase 55), se ha tratado a los cementerios de forma equivalente a parques urbanos, dada la presencia de zonas verdes y ajardinadas y el mobiliario que contienen; por su parte, se ha considerado a los mataderos como uso industrial, a efectos de la imputación de pérdidas materiales ocasionadas por una inundación.

Infraestructuras de transporte (grupo 6)

Dentro del grupo de infraestructuras de transporte existe bastante heterogeneidad sobre la fragilidad de los elementos, lo que se traduce en el propio indicador VED según el tipo de elemento afectado.

En general, las carreteras y el ferrocarril, presentan una vulnerabilidad baja (indicadores por debajo de 0,2); en el caso de las carreteras, el valor del indicador, y por ende, de las pérdidas potenciales en caso de inundación, va descendiendo a medida que se desciende en la categoría de la vía, de modo que los daños materiales esperados en autopistas y autovías se consideran mayores que los ocasionados en una vía nacional o una municipal, debido a la mayor dotación de infraestructura.

Se optó por tratar las *estaciones de ferrocarril*, a efectos de este indicador, como los usos terciarios, dada la presencia de hostelería, áreas administrativas, zonas de descanso y la presencia de elementos mecánicos y eléctricos asociados.

Por otro lado, el VED de las instalaciones portuarias ha sido calculado equiparando el 60 % de la superficie al uso industrial y otro 40 % al de áreas pavimentadas. No obstante, a los equipamientos de tipo administrativo o los edificios que albergan las funciones de gestión del puerto (Comandancia,

Autoridad Portuaria, Aduana, etc.), se les ha asignado la vulnerabilidad de los equipamientos comunes. En el caso de los usos aeroportuarios (de tipo no comercial), destacan por su alta vulnerabilidad los hangares, dado el alto valor de los elementos contenidos en ellos.

Finalmente, para uso denominado de “Áreas de mantenimiento de infraestructuras viarias” (uso 680) también se ha recurrido a una combinación de valores mediante prorrateo de la superficie, considerando que el uso de un 50 % de la misma sería equivalente a un aparcamiento al aire libre, otro 30 % al uso industrial y el 20 % restante presentaría una vulnerabilidad semejante a los equipamientos comunes.

Infraestructuras de servicio (grupo 7)

El indicador de vulnerabilidad económica directa de las infraestructuras de servicio presenta valores moderados (iguales a 0,54). Atendiendo a las características técnicas de los elementos que forman parte de este grupo, en general²⁸, el valor se ha obtenido suponiendo que las pérdidas materiales que puede ocasionar una inundación se pueden asimilar a una combinación del uso industrial (80 %) y de equipamientos (20 %). Así mismo, dada la escasez de datos sobre estos elementos se ha optado por no establecer diferencias entre los distintos usos.

²⁸ Excepto para el caso de las “Presas y saltos de agua”, para las cuales se considera que el valor del indicador de daños económicos directos es nulo, es decir, que no hay posibilidad de que una inundación cause pérdidas económicas directas (excepto en los casos en que tales presas se encuentren en fase de construcción).

GRUPO	CLASE	USO	VED		VEI		
			€/ m ² (1)	VALOR	CÁLCULO (2)	VALOR	
1	Usos agrarios y vinculados al cauce	11 Edificaciones agrarias	111 Edificación agrícola o ganadera	17.10	0.256	55%	0.403
			112 Hórreos, paneras y cabazos	5.13	0.077	0%	0.000
		12 Usos agrícolas no edificados	120 Usos agrícolas no edificados	0.51	0.008	100%	0.022
			13 Instalaciones de piscicultura	131 Instalaciones de piscicultura	37.20	0.558	55%
		139 Instalaciones de piscicultura sin uso	0.00	0.000	0%	0.000	
2	Usos residenciales	21 Edificación en bloque (multifamiliar)	210 Edificación en bloque (multifamiliar)	47.05	0.705	25%	0.504
			22 Edificación unifamiliar	220 Edificación unifamiliar	54.79	0.821	20%
		23 Áreas con predominio del uso residencial	231 Área con predominio de la tipología en bloque	42.58	0.638	30%	0.547
			232 Área con predominio de la tipología unifamiliar	48.47	0.727	15%	0.311
			233 Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)	44.94	0.674	20%	0.385
			234 Área de poblamiento rural	38.27	0.574	15%	0.246
		24 Otras edificaciones vinculadas al uso residencial	241 Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda	48.00	0.720	15%	0.308
			242 Depósitos de combustible y similares	48.00	0.720	15%	0.308
			243 Otras construcciones con uso residencial	27.40	0.411	15%	0.176
			244 Infravivienda	16.44	0.246	15%	0.106
3	Usos industriales	31 Minería	311 Minería subterránea	11.40	0.171	30% de (0,55x37,20 €)+70% de 0,21 €	0.269
			312 Minería aire libre	4.03	0.060	10% de (0,55x37,20 €)+90% de 0,21 €	0.096
			313 Instalaciones vinculadas a la minería	37.20	0.558	55%	0.876
			314 Depósitos de minerales o rocas	0.34	0.005	100%	0.015
		32 Áreas de concentración industrial	321 Áreas industriales ocupadas	30.72	0.461	55%	0.724
			322 Áreas industriales no ocupadas	6.14	0.092	0,41 €	0.018
		33 Instalaciones industriales aisladas	330 Instalaciones industriales aisladas	37.20	0.558	55%	0.876
		34 Gasolineras y otros depósitos de comb.	340 Gasolineras y otros depósitos de combustibles	37.20	0.558	35%	0.558
		35 Instal. de prod. de energía eléctrica	350 Instalaciones de producción de energía eléct.	37.20	0.558	55%	0.876
		39 Instalaciones industriales sin uso	390 Instalaciones industriales sin uso	3.72	0.056	0%	0.000

Tabla 73. Cuantías máximas de daño económico directo por unidad de superficie y valor de los indicadores de VED y VEI

(1) Cuantías máximas por metro cuadrado en euros de 2002. (2) % aplicado sobre los daños económicos directos o tanto fijo por m²

GRUPO	CLASE	USO	VED		VEI		
			€/m ² (1)	VALOR	CÁLCULO (2)	VALOR	
4	Usos terciarios	41 Instalaciones de uso comercial	410 Instalaciones de uso comercial	32.89	0.493	35%	0.493
		42 Servicios de alojamiento	421 Hoteles, hostales y similares	66.71	1.000	35%	1.000
			422 Campamentos de turismo	26.50	0.091	35%	0.397
		43 Otros usos terciarios	430 Otros servicios terciarios	32.29	0.484	35%	0.484
		49 Instal. de uso terciario desocupadas	490 Instalaciones de uso terciario desocupadas	3.23	0.048	0%	0.000
5	Dotaciones y equipamientos	51 Dotaciones y equipamientos estratégicos	511 Instalaciones del servicio de Bomberos	32.89	0.493	15%	0.211
			512 Instalaciones de los cuerpos de seguridad	32.89	0.493	15%	0.211
			513 Instalaciones de Protección Civil	32.89	0.493	15%	0.211
			514 Equipamientos sanitarios	32.89	0.493	15%	0.211
			515 Equipamientos educativos	32.89	0.493	15%	0.211
			516 Equipamientos asistenciales	32.89	0.493	15%	0.211
		52 Equipamientos deportivos	521 Instalaciones deportivas diáfanas y al aire libre	5.76	0.086	0,41 €	0.018
			522 Instalaciones deportivas edificadas	16.45	0.247	15%	0.106
		53 Dotaciones de ocio y recreo al aire libre	531 Parques urbanos	24.80	0.372	0,41 €	0.018
			532 Áreas recreativas	9.92	0.149	0,41 €	0.018
			533 Paseos y sendas peatonales	7.04	0.106	0,41 €	0.018
			534 Zonas ajardinadas	3.60	0.054	0,41 €	0.018
		54 Aparcamientos	541 Aparcamientos subterráneos	57.60	0.863	15%	0.370
			542 Aparcamientos al aire libre	14.40	0.216	15%	0.093
		55 Dotaciones y equipamientos especiales	551 Cementerios	24.80	0.372	35%	0.372
			552 Mataderos	37.20	0.558	55%	0.876
			553 Mercados y recintos feriales	5.76	0.086	35%	0.086
			554 Vertederos	0.00	0.000	0%	0.000
			555 Establecimientos penitenciarios	32.89	0.493	15%	0.211
56 Otras dotaciones y equipamientos	560 Otras dotaciones y equipamientos	32.89	0.493	15%	0.211		
59 Dotaciones y equipamientos sin uso	590 Dotaciones y equipamientos sin uso	0.00	0.000	0%	0.000		

Tabla 73. Cuantías máximas de daño económico directo por unidad de superficie y valor de los indicadores de VED y VEI (*continuación*)

(1) Cuantías máximas por metro cuadrado en euros de 2002. (2) % aplicado sobre los daños económicos directos o tanto fijo por m²

GRUPO	CLASE	USO	VED		VEI			
			€/m ² (1)	VALOR	CÁLCULO (2)	VALOR		
6	61	Autopistas y carreteras	611	Autopistas y autovías	12.80	0.192	0,21 €	0.009
			612	Carreteras de la red estatal	11.52	0.173	0,21 €	0.009
			613	Carreteras de la red regional	10.24	0.154	0,21 €	0.009
			614	Carreteras de la red comarcal	8.32	0.125	0,21 €	0.009
			615	Carreteras de la red local de primer orden	7.04	0.106	0,21 €	0.009
			616	Carreteras de la red local de segundo orden	7.04	0.106	0,21 €	0.009
			617	Carreteras municipales	6.40	0.096	0,21 €	0.009
	62	Otras vías	621	Otras vías rodadas y áreas pavimentadas	4.80	0.072	0,21 €	0.009
			622	Pasos peatonales	3.20	0.048	0,21 €	0.009
	63	FFCC RENFE	631	RENFE. Trazado ferroviario	11.52	0.173	0,41 €	0.018
			632	RENFE. Estación - apeadero	32.89	0.493	35%	0.493
			633	RENFE. Otros elementos	26.31	0.394	0,41 €	0.018
	64	FFCC FEVE	641	FEVE. Trazado ferroviario	11.52	0.173	0,41 €	0.018
			642	FEVE. Estación - apeadero	32.89	0.493	35%	0.493
			643	FEVE. Otros elementos	26.31	0.394	0,41 €	0.018
	65	Otros ferrocarriles	651	Otros FFCC. Trazado ferroviario	11.52	0.173	0,41 €	0.018
			652	Otros FFCC. Estación - apeadero	32.89	0.493	15%	0.211
			653	Otros FFCC. Otros elementos	26.31	0.394	0,41 €	0.018
	66	Instalaciones portuarias	661	Muelles y áreas de tránsito de mercancías	24.24	0.363	55%	0.571
			662	Equipamientos portuarios	32.89	0.493	15%	0.211
663			Otros elementos vinculados al uso portuario	37.20	0.558	55%	0.876	
67	Aeropuertos y aeródromos	671	Pistas de aterrizaje	12.80	0.192	0,41 €	0.018	
		672	Equipamientos aeroportuarios	32.29	0.484	15%	0.207	
		673	Otros elementos vinculados al uso aeroport.	48.00	0.720	35%	0.720	
68	Áreas de mantenimiento	680	Áreas de mant. de las infraestructuras viarias	24.94	0.374	0,41 €	0.018	
69	Infraestructuras de transporte sin uso	690	Infraestructuras de transporte sin uso	3.29	0.049	0%	0.000	

Tabla 73. Cuantías máximas de daño económico directo por unidad de superficie y valor de los indicadores de VED y VEI (*continuación*)

(1) Cuantías máximas por metro cuadrado en euros de 2002. (2) % aplicado sobre los daños económicos directos o tanto fijo por m²

GRUPO	CLASE	USO	VED		VEI		
			€/ m ² (1)	VALOR	CÁLCULO (2)	VALOR	
7	Infraestructuras de servicio	71 Abastecimiento de agua	710 Abastecimiento de agua	36.34	0.545	15%	0.233
		72 Saneamiento y depuración	720 Saneamiento y depuración	36.34	0.545	15%	0.233
		73 Recogida y eliminación de residuos	730 Recogida y eliminación de residuos	36.34	0.545	15%	0.233
		74 Transporte y suministro eléctrico	740 Transporte y suministro eléctrico	36.34	0.545	15%	0.233
		75 Transporte y suministro de gas	750 Transporte y suministro de gas	36.34	0.545	15%	0.233
		76 Otras infraestructuras de servicio	760 Otras infraestructuras de servicio	36.34	0.545	15%	0.233
		77 Presas	770 Presas	0.00	0.000	15%	0.000

Tabla 73. Cuantías máximas de daño económico directo por unidad de superficie y valor de los indicadores de VED y VEI (*continuación*)

(1) Cuantías máximas por metro cuadrado en euros de 2002. (2) % aplicado sobre los daños económicos directos o tanto fijo por m²

El indicador de vulnerabilidad económica indirecta (VEI)

El segundo de los componentes del *indicador de vulnerabilidad económica* lo constituye la estimación de los potenciales daños económicos indirectos, es decir, el cálculo aproximado de las pérdidas indirectas que una inundación puede ocasionar en los distintos usos. Al igual que el anterior, el *indicador de vulnerabilidad económica indirecta (VEI)* recoge el valor económico relativo (entre 0 y 1) de las pérdidas indirectas.

En la práctica este indicador carece de interés como indicador independiente y aporta una información demasiado parcial. La razón de ello es que es un elemento derivado, es decir, las pérdidas indirectas suelen obtenerse por medio de la aplicación de un porcentaje sobre las pérdidas directas máximas, por lo que el volumen final de daños monetarios indirectos depende tanto del porcentaje aplicado como del nivel de pérdida económica directa previa sobre el que sea aplicado.

Para determinar los valores del VEI se realizó un análisis pormenorizado de la bibliografía existente sobre la materia. Fruto del citado estudio se han obtenido los porcentajes (medios) representativos de lo que pueden suponer los costes indirectos sobre los directos. La Tabla 74 muestra una síntesis de los porcentajes que han sido aplicados sobre los costes económicos directos en nuestro estudio, para cada tipo de uso, así como el tipo de pérdida indirecta que está reflejada dentro de cada porcentaje.

USOS	% SOBRE COSTES ECO. DIRECTOS O €/m ²	PARTICULARIDADES DEL CÁLCULO
TERCIARIOS	35% de los costes económicos directos	Representa los costes indirectos derivados del cese de la prestación de servicios, pérdida de beneficio temporal, pérdida de clientes. Incluyen los costes de limpieza.
INDUSTRIALES	55% de los costes económicos directos	Representa los costes indirectos derivados del cese de la producción, pérdida de beneficio temporal, pérdida de clientes. Incluyen los costes de limpieza.
RESIDENCIALES	15% de los costes económicos directos	Representa costes de limpieza
OTROS	0,21 €	Representa costes de limpieza de carreteras y otros tipos de viales y superficies pavimentadas
	0,41 €	Representa costes de limpieza genéricos para usos donde no es posible una limpieza totalmente mecanizada o se requiere una limpieza exhaustiva.

Tabla 74. Síntesis de los valores utilizados en el cálculo de las pérdidas económicas indirectas según el uso.

Por ejemplo, se ha considerado que, en el caso de los usos terciarios y comerciales, las pérdidas indirectas representan aproximadamente el 35 % de las pérdidas económicas directas estimadas para cada uno de estos usos; este porcentaje arroja una cuantía de pérdidas que engloba los costes indirectos derivados del cese de la prestación de servicios, la pérdida temporal de beneficios, la pérdida de clientes y los costes de los trabajos de limpieza. No obstante, existen muchos usos para los que no se dispone de un porcentaje conocido que represente la magnitud de las pérdidas indirectas en relación a las directas.

Además, debido, por un lado, a la propia naturaleza del elemento en cuestión y, por otro, al hecho de que los únicos daños económicos indirectos causados sean prácticamente los relacionados con los costes de limpieza, puede resultar más práctica la aplicación de un coste indirecto fijo por unidad de superficie limpiada (metro cuadrado). En estos casos, se han barajado dos posibles cuantías de limpieza por metro cuadrado, en función de la posibilidad (o no) de realizar estos trabajos de una manera más o menos rápida y mecanizada.

En la Tabla 73 se recoge el método de cálculo (porcentaje sobre las pérdidas económicas directas o euros por metro cuadrado) y el valor del VEI para cada tipo de uso diferenciado. Cabe señalar que para las tipologías residenciales bloque y unifamiliar se ha incrementado el porcentaje del 15 % (conforme a la Tabla 74) al 25 y 20 %, respectivamente, dada la potencial presencia de usos diferentes al de vivienda en planta baja.

A los usos industriales se les aplica generalmente un porcentaje del 55 % de los daños directos sufridos. Sin embargo, las áreas industriales aún no ocupadas (322) se les imputa un coste fijo (0,42 €) por metro cuadrado que representa costes de limpieza. Por lo que se refiere a la minería se ha optado por calcular el VEI combinando proporcionalmente los costes derivados del carácter industrial de la actividad (el 30 % de la superficie) y los costes de limpieza y acondicionamiento, por medios mecánicos, de las escombreras y depósitos de materiales.

Asimismo, a todos los usos terciarios, con carácter general, se les han imputado unos costes indirectos derivados de la inundación que representan el 35% de los directos, y que representan costes de limpieza, cese temporal de prestación de servicios, pérdida de clientes, etc.

Las dotaciones y equipamientos han tenido un tratamiento diferenciado según la clase a la que pertenezcan. A los equipamientos “*Estratégicos o de especial sensibilidad*” (clase 51) se les ha imputado el mismo porcentaje de costes indirectos que a los usos residenciales, entendiendo que, al ser mayoritariamente de carácter público, no existe pérdida de beneficios comerciales y sólo se afrontan gastos de limpieza. El mismo tratamiento se les ha dado a las “*Instalaciones deportivas edificadas*” (uso 522), los “*Aparcamientos*”

(clase 54), los “*Establecimientos penitenciarios*” (uso 555) y los “*Otros equipamientos*” (uso 560).

Por otro lado, a los “*Cementerios*” y “*Mercados y recintos feriales*” (usos 551 y 553 respectivamente) se les ha considerado igual que a un uso terciario a efectos de imputarles el porcentaje que representa las pérdidas indirectas, mientras que los “*Mataderos*” (uso 552) se han considerado como un uso industrial. Por su parte, a las “*Dotaciones de ocio y recreo al aire libre*” (clase 55) y a las “*Instalaciones deportivas diáfanas y al aire libre*” (uso 521) se les ha asignado un coste fijo (0,42 €/m²) que representa costes de limpieza.

Para el grupo de las infraestructuras de transporte se ha considerado que los costes indirectos soportados tras la inundación sólo corresponden a costes de limpieza (excepto en el caso de las estaciones de ferrocarril y los usos portuarios). En general, los costes indirectos asociados a estas infraestructuras son más amplios, ya que se deben considerar los costes indirectos derivados de las interrupciones del tráfico, los retrasos en los transportes y las comunicaciones, etc., pero estos factores ya han sido contemplados en el indicador de *Vulnerabilidad colectiva* (VC).

En general, a las carreteras y trazados viarios se les ha imputado un coste unitario de limpieza (0,41 ó 0,21 euros por metro cuadrado, según el caso). Las estaciones de ferrocarril han sido tratadas en este punto como elementos de carácter terciario, mientras que los elementos codificados dentro de los usos portuarios se asimilan con las pérdidas indirectas industriales (excepto los equipamientos portuarios).

Finalmente, conviene aclarar en este punto que los aeropuertos no han sido tratados aquí con el porcentaje usado para los usos terciarios, como cabría esperar de una actividad en la que, además de costes de limpieza, se pueden originar importantes pérdidas de beneficios comerciales y de clientes por la interrupción temporal de los vuelos en caso de producirse una inundación de las instalaciones. La razón de este tratamiento distinto es que los usos aeroportuarios aquí codificados están haciendo alusión a aeropuertos no comerciales, básicamente relacionados con las instalaciones de protección civil o de prácticas deportivas y de recreo. De este modo, con los porcentajes imputados a cada elemento de este grupo se está haciendo alusión solamente a los posibles costes de limpieza.

Para las infraestructuras de servicio se ha mantenido el mismo criterio expuesto en el epígrafe anterior, y sólo se contemplan en este punto los posibles costes de limpieza que puedan ocasionarse tras una inundación, ya que los costes derivados de la interrupción de los suministros para la población ya se han tenido en cuenta en el indicador de *Vulnerabilidad colectiva* (VC).

2.3.2.c. Indicador de vulnerabilidad de la población (VP)

El segundo componente del indicador de vulnerabilidad global es el factor que introduce el riesgo derivado de la potencial pérdida de vidas humanas o de la posible producción de daños importantes a las personas como fruto de una inundación. A este segundo *indicador primario*, al que se le ha denominado como “*Indicador de vulnerabilidad de la población*” (VP), se le ha dotado de un especial peso en la vulnerabilidad agregada final, ya que, en el contexto social en el que nos encontramos, se ha considerado que la pérdida de vidas humanas es el daño de mayor repercusión que puede ocasionar una inundación.

Para la asignación de los valores que representan este componente de vulnerabilidad a cada tipo de uso, se ha atendido a dos criterios esenciales:

- 1. *La cantidad potencial (esperada) de personas* que pueden verse afectadas por la inundación. Este primer criterio se interpreta en muchos casos en términos de *densidad de ocupación* de un determinado uso, con el objetivo de poner en relación la cantidad de personas con la superficie potencial que éstas pueden estar ocupando (número de personas por metro cuadrado de uso).
- 2. *La probabilidad de que las personas sean afectadas*. En este segundo criterio se han tenido en cuenta, por un lado, características asociadas a la temporalidad o frecuencia de la ocupación (usos ocupados una vez a la semana, todos los días, ocasionalmente, de lunes a viernes, etc.), así como la persistencia, o no, de ocupación (franja horaria en la que los usos pueden estar ocupados por personas, condición de habitabilidad del elemento analizado, etc.).

En base a estos dos criterios se ha elaborado un escala de valores del indicador para cada tipo de uso, y que representa a su vez la ordenación jerárquica de éstos en función del mayor o menor riesgo esperado para las personas en caso de inundación. Al igual que en el caso de los indicadores de vulnerabilidad económica el VP adopta valores relativos comprendidos entre 0 y 1. La Tabla 75 recoge los valores para cada tipo de uso.

Usos residenciales o que impliquen pernocta

Siguiendo los criterios anteriormente citados, el indicador máximo de riesgo para las personas se ha asignado a aquellos usos que pueden estar ocupados de manera permanente en una proporción importante de su superficie, que desempeñen una función residencial, por lo general en planta baja (tipología unifamiliar) o que conlleven pernocta. Así a los equipamientos sanitarios y los centros penitenciarios, establecimientos hoteleros y campamentos de turismo, se les ha asignado el valor máximo, es decir, 1. También se ha asignado este valor máximo a la infravivienda (uso 244) al considerarse como una edificación con un grado de vulnerabilidad muy alto debido a las características propias de la

construcción (materiales de baja calidad, autoconstrucción, emplazamientos vulnerables, etc.).

En cuanto a las “Áreas con predominio del uso residencial” (clase 23) y las “Edificaciones en bloque” (uso 210) se les ha asignado un valores altos, aunque inferiores a 1, atendiendo a la composición y diversidad de usos contemplada par la valoración del VED. Por otro lado, a las edificaciones con uso auxiliar a la vivienda (cocheras, trasteros), se les ha asignado un valor de 0,25, por considerarse áreas de tránsito frecuente para las personas.

Usos industriales

Se considera que la vulnerabilidad directa para las personas, en un episodio de inundación, de usos industriales, mineros o similares es muy bajo, ya que la densidad de ocupación, se considera muy reducida. Adicionalmente, las medidas preventivas a adoptar ante una posible inundación (desalojo, evacuación) resultan en este tipo de usos más eficaces que en otros como el residencial o el comercial, disminuyendo con ello el riesgo directo para las personas.

Usos comerciales y terciarios

Dentro de esta categoría se ha realizado una primera diferenciación entre los “Servicios de alojamiento” (clase 42) y el resto de los usos terciarios. A los hoteles, campamentos y alojamientos de turismos en general, se les asigna un valor alto al tratarse de usos que desempeñan, de forma temporal, funciones de tipo residencial que conllevan la pernocta.

En el resto de los usos del grupo 4 se han separado las “Instalaciones de uso comercial” (uso 410), a las que se ha otorgado un valor de 0,60, de los denominados como “Otros usos terciarios” (uso 430), en los que se incluyen actividades hosteleras, comerciales, servicios, oficinas, centros de empresas, centros de investigación, concesionarios, etc., al que se ha otorgado un valor de 0,50. A los primeros se les ha imputado un indicador de riesgo directo para las persona más alto por ser establecimientos con una densidad y frecuencia de ocupación mayores, y que incluso podría llegar a ser máxima en determinados momentos de la semana o del año (finés de semana, Navidades, etc). El *otro terciario*, al contener actividades muy heterogéneas, ofrece índices de ocupación y frecuencia dispares que, en todo caso, serán inferiores a los experimentados por las actividades comerciales de carácter exclusivo.

Dotaciones y equipamientos estratégicos

El riesgo directo para las personas dentro de los usos definidos como “Dotaciones y equipamientos estratégicos” (clase 51) será siempre alto, no inferior a 0,75, ya que constituyen un grupo de usos que siempre estarán ocupados (presencia continuada de personas en ellos). El grado de ocupación es variable, siendo máximo en centros sanitarios, centros asistenciales y penitenciarios (indicador máximo de 1); estos establecimientos se diferencian del resto de equipamientos estratégicos en que son altamente frecuentados por la

población o incluso habitados por un cierto número de personas, de forma que desempeñan una función de pernocta.

Infraestructuras de transporte

A las infraestructuras de comunicación por carretera, se les ha asignado un valor del VP de carácter simbólico que considera la posibilidad de que se produzcan muertes ocasionadas por el arrastre de vehículos y la imposibilidad de abandonarlos por parte de sus ocupantes, aun teniendo en cuenta que la mayor parte de estas situaciones de riesgo se pueden deber más a la impudencia de los usuarios de las vías que a la propia inundación.

GRUPO		CLASE		USO		VP
1	Usos agrarios y vinculados al cauce	11	Edificaciones agrarias	111	Edificación agrícola o ganadera	0.02
				112	Hórreos, paneras y cabazos	0.00
		12	Usos agrícolas no edificados	120	Usos agrícolas no edificados	0.05
				131	Instalaciones de piscicultura	0.05
		13	Instalaciones de piscicultura	139	Instalaciones de piscicultura sin uso	0.00
21	Edificación en bloque (multifamiliar)			210	Edificación en bloque (multifamiliar)	0.85
2	Usos residenciales	22	Edificación unifamiliar	220	Edificación unifamiliar	1.00
				231	Área con predominio de la tipología en bloque	0.75
		23	Áreas con predominio del uso residencial	232	Área con predominio de la tipología unifamiliar	0.90
				233	Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)	0.85
				234	Área de poblamiento rural	0.90
				241	Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda	0.25
		24	Otras edificaciones vinculadas al uso residencial	242	Depósitos de combustible y similares	0.00
				243	Otras construcciones con uso residencial	0.30
				244	Infravivienda	1.00
				311	Minería subterránea	0.05
3	Usos industriales	31	Minería	312	Minería aire libre	0.05
				313	Instalaciones vinculadas a la minería	0.05
				314	Depósitos de minerales o rocas	0.05
				321	Áreas industriales ocupadas	0.05
				322	Áreas industriales no ocupadas	0.00
		33	Instalaciones industriales aisladas	330	Instalaciones industriales aisladas	0.05
		34	Gasolineras y otros depósitos de comb.	340	Gasolineras y otros depósitos de combustibles	0.05
		35	Instal. de prod. de energía eléctrica	350	Instalaciones de producción de energía eléct.	0.05
		39	Instalaciones industriales sin uso	390	Instalaciones industriales sin uso	0.00
		4	Usos terciarios	41	Instalaciones de uso comercial	410
421	Hoteles, hostales y similares					0.85
422	Campamentos de turismo					1.00
430	Otros servicios terciarios					0.50
490	Instalaciones de uso terciario desocupadas					0.00
5	Dotaciones y equipamientos	51	Dotaciones y equipamientos estratégicos	511	Instalaciones del servicio de Bomberos	0.75
				512	Instalaciones de los cuerpos de seguridad	0.75
				513	Instalaciones de Protección Civil	0.75
				514	Equipamientos sanitarios	1.00
				515	Equipamientos educativos	0.75
				516	Equipamientos asistenciales	1.00
				521	Instalaciones dep. diáfnas y al aire libre	0.10
		522	Instalaciones deportivas edificadas	0.25		
		53	Dotaciones de ocio y recreo al aire libre	531	Parques urbanos	0.10
				532	Áreas recreativas	0.05
				533	Paseos y sendas peatonales	0.10
		54	Aparcamientos	534	Zonas ajardinadas	0.00
				541	Aparcamientos subterráneos	0.10
				542	Aparcamientos al aire libre	0.10
		55	Dotaciones y equipamientos especiales	551	Cementerios	0.00
				552	Mataderos	0.00
				553	Mercados y recintos feriales	0.00
554	Vertederos			0.00		
555	Establecimientos penitenciarios	1.00				
56	Otras dotaciones y equipamientos	560	Otras dotaciones y equipamientos	0.50		
59	Dotaciones y equipamientos sin uso	590	Dotaciones y equipamientos sin uso	0.00		

Tabla 75. Valores del Indicador de vulnerabilidad de la población (VP)

GRUPO	CLASE		USO	VP	
6	61	Autopistas y carreteras	611	Autopistas y autovías	0.05
			612	Carreteras de la red estatal	0.05
			613	Carreteras de la red regional	0.05
			614	Carreteras de la red comarcal	0.04
			615	Carreteras de la red local de 1 ^{er} orden	0.04
			616	Carreteras de la red local de 2 ^o orden	0.02
			617	Carreteras municipales	0.02
	62	Otras vías	621	Otras vías rodadas y áreas pavimentadas	0.01
			622	Pasos peatonales	0.00
	63	FFCC RENFE	631	RENFE. Trazado ferroviario	0.00
			632	RENFE. Estación - apeadero	0.25
			633	RENFE. Otros elementos	0.05
	64	FFCC FEVE	641	FEVE. Trazado ferroviario	0.00
			642	FEVE. Estación - apeadero	0.25
			643	FEVE. Otros elementos	0.05
	65	Otros ferrocarriles	651	Otros FFCC. Trazado ferroviario	0.00
			652	Otros FFCC. Estación - apeadero	0.00
			653	Otros FFCC. Otros elementos	0.00
	66	Instalaciones portuarias	661	Muelles y áreas de tránsito de mercancías	0.05
			662	Equipamientos portuarios	0.50
663			Otros elementos vinculados al uso portuario	0.05	
67	Aeropuertos y aeródromos	671	Pistas de aterrizaje	0.05	
		672	Equipamientos aeroportuarios	0.25	
		673	Otros elementos vinculados al uso aeroport.	0.10	
68	Áreas de mantenimiento	680	Áreas de mant. de las infraestructuras viarias	0.05	
69	Infraestructuras de transporte sin uso	690	Infraestructuras de transporte sin uso	0.00	
7	71	Abastecimiento de agua	710	Abastecimiento de agua	0.00
			72	Saneamiento y depuración	0.00
			73	Recogida y eliminación de residuos	0.00
			74	Transporte y suministro eléctrico	0.00
			75	Transporte y suministro de gas	0.00
			76	Otras infraestructuras de servicio	0.00
			77	Presas	0.00
			770	Presas	0.00

Tabla 75. Valores del Indicador de vulnerabilidad de la población (VP) (continuación)

2.3.2.d. Indicador de vulnerabilidad colectiva (VC)

El tercer componente incluido en el indicador de vulnerabilidad global es un parámetro que introduce simultáneamente la vulnerabilidad derivada de la *merma en la capacidad de respuesta* ante una inundación (por medio de la afección a elementos estratégicos) y la derivada de la *interrupción de la provisión de servicios* (de carácter público o privado) que determinan el normal funcionamiento de la vida cotidiana para una comunidad. Estos dos componentes del tercer indicador primario, al que hemos denominado como “*Indicador de vulnerabilidad colectiva*” (VC), se han valorado de forma conjunta, ya que en la mayoría de casos no es posible diferenciarlos. Para gran parte de los elementos tipificados resulta muy complicado estimar separadamente (por medio de dos indicadores independientes) la merma de la capacidad de respuesta y la interrupción de la prestación de servicios, por lo que se ha considerado que puede tener más sentido analizar ambos factores conjuntamente.

La parte del indicador que refleja *la interrupción de la provisión de servicios para una comunidad de personas* representa el trastorno directo²⁹ sufrido por éstas a raíz tanto del cese en la prestación de servicios de carácter público y privado, como del cese de los servicios que prestan las infraestructuras de servicio y transporte. Además, y en referencia a estas últimas, los costes indirectos de la interrupción de los servicios de transporte, comunicaciones y suministros proporcionados por las infraestructuras se han reflejado a través de este indicador y no del indicador de costes económicos indirectos; la razón de ello es que resulta difícil en ocasiones desvincular el carácter estratégico que pueden tener estos elementos del servicio proveído por ellos a la población. Por tanto, los costes derivados de la interrupción de las comunicaciones por carreteras, de los retrasos en los transportes, de los cortes de luz, agua, gas, teléfono, etc., se recogen en este estudio a través de este indicador primario, el VC.

De la misma forma, la parte del indicador que refleja *la merma en la capacidad de respuesta* representa el riesgo de que se vean afectados por la inundación aquellos elementos que son considerados como estratégicos a efectos de hacer frente al fenómeno. En este apartado se pondrá especial atención a los elementos inventariados en el *Plan Territorial de Protección Civil del Principado de Asturias* (PLATERPA).

Para la asignación de los valores que representan el componente de merma de la capacidad de respuesta y de interrupción de los servicios comunitarios en cada uno de los tipos de uso, se ha atendido a tres criterios esenciales:

- 1. La *cantidad de personas potencialmente afectadas* por la interrupción del servicio desde que se inicia la catástrofe hasta el restablecimiento de la situación de preemergencia.
- 2. *Incidencia* de la interrupción del servicio *sobre el normal funcionamiento de la vida cotidiana de la comunidad*, valorando tanto el impacto material directo (falta de agua, luz, gas, etc.), como, en otros casos, el impacto social debido al cese del funcionamiento de un servicio que contiene un alto componente de sensibilidad social (cementeros, centros penitenciarios, hospitales, etc.)
- 3. Se valorará la *capacidad de respuesta de cada uso ante la situación de emergencia*, al entenderse ésta como una *cualidad básica* para el restablecimiento de la situación de preemergencia. En este sentido, tienen especial interés los equipamientos estratégicos, así como todos aquellos elementos catalogados por el PLATERPA, ya que su afección por la inundación mermará

²⁹ No se consideran los trastornos indirectos causados por la interrupción de la provisión de servicios para la comunidad.

sustancialmente la capacidad de respuesta ante el fenómeno y, por lo tanto, se incrementará el trastorno para la comunidad.

En base a estos tres criterios se ha elaborado una escala de valores (Tabla 76) para el indicador, jerárquicamente ordenados en función de la mayor o menor vulnerabilidad esperada en relación a elementos estratégicos y/o que proveen servicios comunitarios.

Tratamiento de elementos inventariados en el PLATERPA

Ciertos elementos codificados como “estratégicos” tendrán un especial tratamiento en esta parte del análisis, a efectos de imputación del valor correspondiente al indicador de merma en la capacidad de respuesta e interrupción de servicios para la comunidad. En general, los elementos codificados según los usos se asociarán a los valores del indicador mostrados en la Tabla 76.

No obstante, tal y como se ha explicado en los apartados precedentes, en la toma de datos del inventario de elementos en riesgo, algunos de los medios y recursos catalogados por el PLATERPA han sido objeto de una identificación individualizada dado el especial carácter estratégico que les otorga el citado Plan. Dichos elementos, a efectos de valor del indicador de vulnerabilidad colectiva, tomarán valor máximo (igual a 1). De este modo, por ejemplo, algunos elementos pertenecientes a las clases 56, “*Otras dotaciones y equipamientos*”, 42, “*Servicios de alojamiento*”, o 52, “*Equipamientos deportivos*”, pasarían a tener un valor de 1 en el indicador VC dada su pertenencia al citado inventario.

Usos agrarios y usos residenciales

En este apartado del estudio se ha entendido que los usos agrarios no son susceptibles de producir interrupciones en servicios básicos para la comunidad ni de causar una merma en la capacidad de respuesta ante el evento. Se ha aplicado, en general, el mismo criterio a los usos residenciales, excepto para aquellas tipología capaces de acoger actividades comerciales o de prestación de servicios compatibles con la vivienda, en cuyo caso se entiende que la paralización en la provisión de dichos servicios puede causar ciertos trastornos en la comunidad (aunque no de carácter severo), por lo que se asigna al VC valores de 0,1 ó 0,25 (según el caso).

Usos industriales y terciarios

Los trastornos directos para la colectividad, en términos de merma de la capacidad de respuesta y de la interrupción de servicios básicos para la comunidad, derivados del cese de la actividad minera e industrial, se han considerado nulos. En este punto, tan sólo se exceptúa a las industrias de producción de energía eléctrica y a las gasolineras, que tienen valores del indicador de 1 y 0,5 respectivamente, debido a que ambos son sectores relacionados con el abastecimiento de bienes de primera necesidad.

En general se ha considerado que los efectos sobre la comunidad derivados de la afección de la inundación a los usos terciarios (excepto para aquellos elementos que aparezcan inventariados por el PLATERPA) son bastante limitados dada la capacidad de sustitución del servicio a escala local o comarcal. No obstante, se ha otorgado un valor del indicador de 0,25 a las “*Instalaciones de uso comercial*” (uso 410), ya que está directamente relacionadas con el abastecimiento a gran escala de bienes de primera necesidad (básicamente, alimentos). En menor medida, con un valor de 0,1, se han considerado los “*Otros usos terciarios*”, al entender que se trata en su mayoría de servicios que no tienen un carácter básico para la población, pero cuya reanudación tras una inundación condiciona la total recuperación de la vida cotidiana (comercio, oficinas, centros de empresas, hostelería, servicios en general, etc.).

Dotaciones y equipamientos

Los equipamientos no han sido tratados sistemáticamente con el mismo criterio, sino que se ha hecho una primera diferenciación entre las “*Dotaciones y equipamientos estratégicos y de especial sensibilidad*” (clase 51) y las “*Dotaciones y equipamientos especiales*” (clase 55).

Al primer grupo se les asignará el índice máximo dada su relevancia en la articulación de la capacidad de respuesta y por ofrecer servicios públicos de primer orden a la comunidad. Quedan excluidos de este grupo los “*Equipamientos educativos y asistenciales*” (usos 515 y 516) ya que, si bien ofrecen un servicio de primera necesidad, su aportación a la capacidad de respuesta es significativamente menor al resto.

Al resto de los equipamientos y dotaciones se les ha imputado generalmente un indicador de valor igual a 0,1, al considerar que no ofrecen servicios de primera necesidad a la colectividad ni repercuten en una merma de la capacidad de respuesta en el caso de ser afectados por una inundación. La excepción la constituyen los cementerios y los centros penitenciarios, a los que se ha dotado de un indicador con un valor de 0,5 y 0,25 respectivamente, ya que al trastorno directo provocado por la interrupción del servicio que prestan estas dotaciones hay que añadir el impacto que desde el punto de vista de la alarma social provocaría la afección por inundaciones y la alteración de su correcto funcionamiento.

Por último, debe recordarse de nuevo que todos estos valores están sujetos a las alteraciones derivadas de la inclusión de los elementos cartografiados en el inventario del PLATERPA, en cuyo caso el valor de VC pasaría directamente a ser 1.

Infraestructuras de transporte

Las infraestructuras de transporte deben tener la consideración de elementos imprescindibles para el normal funcionamiento de la comunidad, en la medida en que garantizan los flujos, tanto de personas como de mercancías, y vertebran el

territorio la sociedad. La interrupción de los servicios de las infraestructuras de transporte causarán un perjuicio mayor o menor para la comunidad dependiendo de los flujos que puedan absorber, de este modo serán dotadas de índices proporcionales al rango jerárquico que ocupen dentro de la red general. Así, a las infraestructuras viarias de alta capacidad (autopistas y autovías), carreteras nacionales y aeropuertos se les asigna un índice de 0,75. Los trazados de ferrocarril que presten servicio a la colectividad, las vías de comunicación por carretera de rango regional o comarcal tendrán un índice menor, de 0,50 al entender que son infraestructuras que canalizan flujos menores. La interrupción del funcionamiento de los trazados férreos de carácter privado no han sido considerados (valor 0) ya que no proporcionan ningún servicio directo a la colectividad. No obstante, en la práctica, la disponibilidad de vías alternativas adecuadas para desviar el tráfico y la disposición de una amplia red de carreteras hace que hoy en día, los efectos de una inundación sobre este tipo de servicios tengan un carácter más bien puntual.

Por último, conviene recordar que en el capítulo de aeropuertos, lo que realmente se está teniendo en cuenta a efectos de las imputaciones de valor de los indicadores de vulnerabilidad son los aeropuertos de tipo no comercial, ya que el único que tiene carácter comercial en Asturias (Aeropuerto de Ranón) no se encuentra expuesto a la peligrosidad de los fenómenos de inundación. Esta consideración implica que el valor del indicador de merma de capacidad de respuesta cobra un valor alto para aeropuertos y resto de elementos aeroportuarios, dado que la mayor parte de estos usos están asociados a los equipos de intervención de los que dispone protección civil.

Infraestructuras de servicio

Este es uno de los capítulos con mayor relevancia en el indicador de interrupción de servicios para la comunidad. Por un lado, la mayor parte de los suministros, y especialmente la electricidad y el agua, tienen una relevancia máxima para el desarrollo de la vida de cualquier comunidad, y su interrupción, especialmente la de las redes de suministro eléctrico, implica además una merma en la capacidad de respuesta ante el desastre. Por estos motivos, los abastecimientos de agua, electricidad y gas tienen un valor del indicador máximo, e igual a 1. Del mismo modo, se ha considerado que la interrupción de las infraestructuras de telefonía y cable, saneamiento, y recogida y eliminación de residuos causa grandes trastornos en la vida de una comunidad, por lo que tienen un valor de 0,75 en el indicador estudiado.

Sin embargo, dadas las dificultades para obtener información fiable y con la definición espacial necesaria para inventariar este tipo de elementos, la información recogida debe entenderse como indicativa ya que no incorpora, por ejemplo, las redes de distribución.

GRUPO		CLASE		USO		VC
1	Usos agrarios y vinculados al cauce	11	Edificaciones agrarias	111	Edificación agrícola o ganadera	0.00
				112	Hórreos, paneras y cabazos	
		12	Usos agrícolas no edificados	120	Usos agrícolas no edificados	
		13	Instalaciones de piscicultura	131	Instalaciones de piscicultura	
				139	Instalaciones de piscicultura sin uso	
2	Usos residenciales	21	Edificación en bloque (multifamiliar)	210	Edificación en bloque (multifamiliar)	0.20
				220	Edificación unifamiliar	0.00
		23	Áreas con predominio del uso residencial	231	Área con predominio de la tipología en bloque	0.15
				232	Área con predominio de la tipología unifamiliar	0.00
				233	Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)	0.10
				234	Área de poblamiento rural	0.00
		24	Otras edificaciones vinculadas al uso residencial	241	Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda	0.00
				242	Depósitos de combustible y similares	
				243	Otras construcciones con uso residencial	
				244	Infravivienda	
3	Usos industriales	31	Minería	311	Minería subterránea	0.00
				312	Minería aire libre	
				313	Instalaciones vinculadas a la minería	
				314	Depósitos de minerales o rocas	
		32	Áreas de concentración industrial	321	Áreas industriales ocupadas	0.00
				322	Áreas industriales no ocupadas	
		33	Instalaciones industriales aisladas	330	Instalaciones industriales aisladas	0.00
34	Gasolineras y otros depósitos de comb.	340	Gasolineras y otros depósitos de combustibles	0.50		
35	Instal. de prod. de energía eléctrica	350	Instalaciones de producción de energía eléct.	1.00		
39	Instalaciones industriales sin uso	390	Instalaciones industriales sin uso	0.00		
4	Usos terciarios	41	Instalaciones de uso comercial	410	Instalaciones de uso comercial	0.25
				421	Hoteles, hostales y similares	0.00
		42	Servicios de alojamiento	422	Campamentos de turismo	
		43	Otros usos terciarios	430	Otros servicios terciarios	0.10
49	Instal. de uso terciario desocupadas	490	Instalaciones de uso terciario desocupadas	0.00		
5	Dotaciones y equipamientos	51	Dotaciones y equipamientos estratégicos	511	Instalaciones del servicio de Bomberos	1.00
				512	Instalaciones de los cuerpos de seguridad	1.00
				513	Instalaciones de Protección Civil	1.00
				514	Equipamientos sanitarios	1.00
				515	Equipamientos educativos	0.75
				516	Equipamientos asistenciales	0.75
		52	Equipamientos deportivos	521	Instalaciones dep. diáfanos y al aire libre	0.10
				522	Instalaciones deportivas edificadas	
		53	Dotaciones de ocio y recreo al aire libre	531	Parques urbanos	0.10
				532	Áreas recreativas	
				533	Paseos y sendas peatonales	
				534	Zonas ajardinadas	
		54	Aparcamientos	541	Aparcamientos subterráneos	0.10
				542	Aparcamientos al aire libre	
		55	Dotaciones y equipamientos especiales	551	Cementerios	0.50
552	Mataderos			0.10		
553	Mercados y recintos feriales			0.10		
554	Vertederos			0.00		
555	Establecimientos penitenciarios			0.25		
56	Otras dotaciones y equipamientos	560	Otras dotaciones y equipamientos	0.25		
59	Dotaciones y equipamientos sin uso	590	Dotaciones y equipamientos sin uso	0.00		

Tabla 76. Valores del Indicador de vulnerabilidad colectiva (VC)

GRUPO	CLASE		USO	VC
6	61	Autopistas y carreteras	611 Autopistas y autovías	0.75
			612 Carreteras de la red estatal	0.75
			613 Carreteras de la red regional	0.50
			614 Carreteras de la red comarcal	0.50
			615 Carreteras de la red local de 1 ^{er} orden	0.25
			616 Carreteras de la red local de 2 ^o orden	0.25
			617 Carreteras municipales	0.25
	62	Otras vías	621 Otras vías rodadas y áreas pavimentadas	0.10
			622 Pasos peatonales	0.10
	63	FFCC RENFE	631 RENFE. Trazado ferroviario	0.50
			632 RENFE. Estación - apeadero	0.25
			633 RENFE. Otros elementos	0.10
	64	FFCC FEVE	641 FEVE. Trazado ferroviario	0.50
			642 FEVE. Estación - apeadero	0.25
			643 FEVE. Otros elementos	0.10
	65	Otros ferrocarriles	651 Otros FFCC. Trazado ferroviario	0.00
			652 Otros FFCC. Estación - apeadero	
			653 Otros FFCC. Otros elementos	
	66	Instalaciones portuarias	661 Muelles y áreas de tránsito de mercancías	0.00
662 Equipamientos portuarios				
663 Otros elementos vinculados al uso portuario				
67	Aeropuertos y aeródromos	671 Pistas de aterrizaje	0.75	
		672 Equipamientos aeroportuarios		
		673 Otros elementos vinculados al uso aeroport.		
68	Áreas de mantenimiento	680 Áreas de mant. de las infraestructuras viarias	0.00	
69	Infraestructuras de transporte sin uso	690 Infraestructuras de transporte sin uso	0.00	
7	Infraestructuras de servicio	71 Abastecimiento de agua	710 Abastecimiento de agua	1.00
		72 Saneamiento y depuración	720 Saneamiento y depuración	0.75
		73 Recogida y eliminación de residuos	730 Recogida y eliminación de residuos	0.75
		74 Transporte y suministro eléctrico	740 Transporte y suministro eléctrico	1.00
		75 Transporte y suministro de gas	750 Transporte y suministro de gas	1.00
		76 Otras infraestructuras de servicio	760 Otras infraestructuras de servicio	0.75
		77 Presas	770 Presas	0.00

Tabla 76. Valores del Indicador de vulnerabilidad colectiva (VC) (continuación)

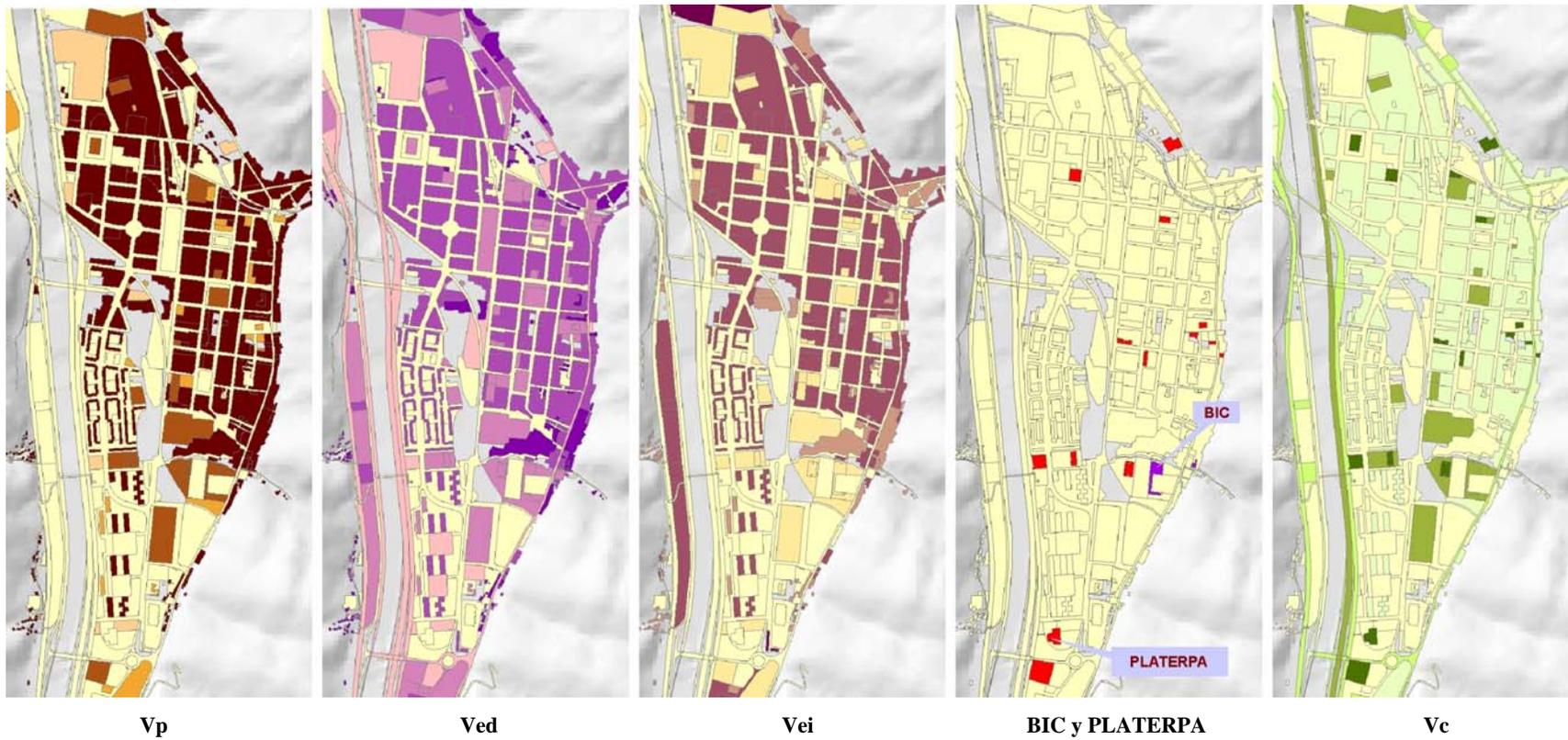


Figura 103. Representación cualitativa de los valores de los Indicadores primarios de vulnerabilidad (Mieres)

2.3.2.c. Cálculo del Indicador agregado de vulnerabilidad (IAV)

Como ya hemos señalado, los valores de los indicadores primarios varían entre 0 y 1 y son adimensionales, es decir, no reflejan valores absolutos referidos al número de personas o volumen de pérdidas materiales sino que representan cifras que permiten la comparación de los usos entre sí y la ordenación jerárquica de su vulnerabilidad.

Cada uno de los cuatro indicadores primarios de vulnerabilidad (económica directa, económica indirecta, población y colectiva) permiten establecer un orden jerárquico de la magnitud de la vulnerabilidad de los diferentes usos considerados atendiendo a los criterios establecidos para cada aspecto concreto. Sin embargo, de acuerdo con el concepto adoptado en este trabajo, la vulnerabilidad de cada elemento es el resultado de la combinación de varios aspectos que lo caracterizan.

En una primera fase es necesario calcular el valor final del indicador de vulnerabilidad colectiva relacionando el inventario de elementos en riesgo con el inventario de medios y recursos del PLATERPA. Para ello se aplica la siguiente expresión:

$$Vcf_n = 1(Sin \subset PLATERPA); Vc(Sin \not\subset PLATERPA)$$

El resultado es que a cualquier elemento incluido en el inventario de medios y recursos del PLATERPA se le asignará, independientemente de su uso, el valor máximo en el indicador final de vulnerabilidad colectiva (Vcf). En caso contrario, el valor de " Vcf " del elemento será igual al que le corresponde por la clasificación de usos.

Una vez estimados los valores definitivos de los indicadores primarios se procedió a realizar los ensayos oportunos para el cálculo del indicador agregado de vulnerabilidad.

Este indicador agregado (Ia_n), siguiendo la filosofía de la elaboración del resto de indicadores, oscila entre 0 y 1 y se construye a partir de la suma ponderada del valor de cada uno de los indicadores primarios para cada elemento "n". El recurso a la ponderación nace de la necesidad de que en Ia_n se refleje la desigual trascendencia que tiene cada tipo de indicador primario, considerando, en nuestro caso, que es la pérdida de vidas humanas la característica que debe tener el mayor protagonismo a la hora de caracterizar la vulnerabilidad de los elementos en riesgo.

En los ensayos se combinaron los indicadores primarios de diferentes formas, analizándose posteriormente los resultados. Finalmente, la fórmula de combinación que mejor reflejaba los criterios y conceptos utilizados en el presente trabajo es la siguiente:

$$Ia_n = (Vp_n \times 0,5) + (Ved_n \times 0,25) + (Vei_n \times 0,15) + (Vcf_n \times 0,1)$$

Donde:

- Ia_n : es el valor del indicador agregado para el elemento n
- Vp_n : es el valor del indicador de vulnerabilidad de la población del elemento n
- Ved_n : es el valor del indicador de vulnerabilidad económica directa del elemento n
- Ve_i_n : es el valor del indicador de vulnerabilidad económica indirecta del elemento n
- Vcf_n : es el valor final del indicador de vulnerabilidad colectiva del elemento n, una vez que se ha relacionado con el inventario del PLATERPA

Por último, se introduce el factor de irremplazabilidad de algunos elementos, en nuestro caso aquéllos incluidos en el catálogo de Bienes de Interés Cultural (BIC), conforme a la siguiente expresión.

$$Iav_n = Ia_n + 0,075(Si n \subset BIC); Ia_n(Si n \notin BIC)$$

Dado que se trata de un catálogo de patrimonio parcial, ya que solo hace referencia a los BIC, se ha optado por incrementar el valor de “ Ia ” con una cantidad constante. Así, dado que los valores del “ Ia ” oscilan entre 0 y 0,825, el valor del “ Ia_n ” se incrementa en 0,075 unidades, si el elemento está incluido en el catálogo de BIC. De esta forma el valor máximo posible del Indicador Agregado de Vulnerabilidad (Iav) será 1.

A modo de síntesis podemos destacar los siguientes aspectos sobre el resultado alcanzado:

- Atendiendo al contexto social en el que nos encontramos, se ha optado por dotar de un peso muy alto al indicador primario de vulnerabilidad para las personas (0,5), entendiendo que la pérdida de vidas humanas constituye una preocupación social mucho mayor que las materiales.
- El peso asignado en la ponderación del indicador de Vulnerabilidad Colectiva es relativamente bajo (0,1) ya que, una vez analizada someramente la exposición de los equipamientos estratégicos y de los elementos incluidos en el PLATERPA, se entiende que la afección a este grupo de elementos, en general y desde una perspectiva regional, no tendrá efectos extremos sobre el sistema. Quizás en los análisis a escala local deban complementarse este criterio teniendo en cuenta las características de cada elemento individualmente.
- En el caso de los elementos patrimoniales sería posible estimar un indicador de vulnerabilidad, similar al del resto de los criterios, si se dispusiera de información territorial de los diferentes inventarios y catálogos. No obstante, la mejora de este criterio resulta de especial interés a la hora de abordar análisis del riesgo a escala local.

- Por lo que se refiere a los valores de “*Iav*” por usos cabe señalar que las principales tipologías de usos residenciales, al igual que los equipamientos estratégicos, presentan una vulnerabilidad que se puede calificar de alta o muy alta, mientras que, por el contrario, las infraestructuras de transporte adquieren valores bajos o muy bajos.

GRUPO	CLASE	USO	VED	VEI	VP	VC	IAV ⁽¹⁾	
1	Usos agrarios y vinculados al cauce	11 Edificaciones agrarias	111 Edificación agrícola o ganadera	0.256	0.403	0.02	0.00	0.135
			112 Hórreos, paneras y cabazos	0.077	0.000	0.00	0.00	0.019
		12 Usos agrícolas no edificados	120 Usos agrícolas no edificados	0.008	0.022	0.05	0.00	0.030
		13 Instalaciones de piscicultura	131 Instalaciones de piscicultura	0.558	0.876	0.05	0.00	0.296
			139 Instalaciones de piscicultura sin uso	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
2	Usos residenciales	21 Edificación en bloque (multifamiliar)	210 Edificación en bloque (multifamiliar)	0.705	0.504	0.85	0.20	0.697
			22 Edificación unifamiliar	220 Edificación unifamiliar	0.821	0.469	1.00	0.00
		23 Áreas con predominio del uso residencial	231 Área con predominio de la tipología en bloque	0.638	0.547	0.75	0.15	0.632
			232 Área con predominio de la tipología unifamiliar	0.727	0.311	0.90	0.00	0.678
			233 Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)	0.674	0.385	0.85	0.10	0.661
			234 Área de poblamiento rural	0.574	0.246	0.90	0.00	0.630
		24 Otras edificaciones vinculadas al uso residencial	241 Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda	0.720	0.308	0.25	0.00	0.351
			242 Depósitos de combustible y similares	0.720	0.308	0.00	0.00	0.226
			243 Otras construcciones con uso residencial	0.411	0.176	0.30	0.00	0.279
			244 Infravivienda	0.246	0.106	1.00	0.00	0.577
		3	Usos industriales	31 Minería	311 Minería subterránea	0.171	0.269	0.05
312 Minería aire libre	0.060				0.096	0.05	0.00	0.054
313 Instalaciones vinculadas a la minería	0.558				0.876	0.05	0.00	0.296
314 Depósitos de minerales o rocas	0.005				0.015	0.05	0.00	0.028
32 Áreas de concentración industrial	321 Áreas industriales ocupadas			0.461	0.724	0.05	0.00	0.249
	322 Áreas industriales no ocupadas			0.092	0.018	0.00	0.00	0.026
33 Instalaciones industriales aisladas	330 Instalaciones industriales aisladas			0.558	0.876	0.05	0.00	0.296
34 Gasolineras y otros depósitos de comb.	340 Gasolineras y otros depósitos de combustibles			0.558	0.558	0.05	0.50	0.298
35 Instal. de prod. de energía eléctrica	350 Instalaciones de producción de energía eléct.			0.558	0.876	0.05	1.00	0.396
39 Instalaciones industriales sin uso	390 Instalaciones industriales sin uso			0.056	0.000	0.00	0.00	0.014

Tabla 77. Valores de los indicadores primarios de vulnerabilidad y del Indicador Agregado de Vulnerabilidad (IAV)

$$(1) \text{ IAV} = (\text{VED} \times 0,25) + (\text{VEI} \times 0,15) + (\text{VP} \times 0,5) + (\text{VC} \times 0,1)$$

GRUPO	CLASE	USO	VED	VEI	VP	VC	IAV ⁽¹⁾	
4	Usos terciarios	41 Instalaciones de uso comercial	410 Instalaciones de uso comercial	0.493	0.493	0.60	0.25	0.522
		42 Servicios de alojamiento	421 Hoteles, hostales y similares	1.000	1.000	0.85	0.00	0.825
			422 Campamentos de turismo	0.091	0.397	1.00	0.00	0.582
		43 Otros usos terciarios	430 Otros servicios terciarios	0.484	0.484	0.50	0.10	0.454
		49 Instal. de uso terciario desocupadas	490 Instalaciones de uso terciario desocupadas	0.048	0.000	0.00	0.00	0.012
5	Dotaciones y equipamientos	51 Dotaciones y equipamientos estratégicos	511 Instalaciones del servicio de Bomberos	0.493	0.211	0.75	1.00	0.630
			512 Instalaciones de los cuerpos de seguridad	0.493	0.211	0.75	1.00	0.630
			513 Instalaciones de Protección Civil	0.493	0.211	0.75	1.00	0.630
			514 Equipamientos sanitarios	0.493	0.211	1.00	1.00	0.755
			515 Equipamientos educativos	0.493	0.211	0.75	0.75	0.605
			516 Equipamientos asistenciales	0.493	0.211	1.00	0.75	0.730
		52 Equipamientos deportivos	521 Instalaciones dep. diáfanos y al aire libre	0.086	0.018	0.10	0.10	0.084
			522 Instalaciones deportivas edificadas	0.247	0.106	0.25	0.10	0.212
		53 Dotaciones de ocio y recreo al aire libre	531 Parques urbanos	0.372	0.018	0.10	0.10	0.156
			532 Áreas recreativas	0.149	0.018	0.05	0.10	0.075
			533 Paseos y sendas peatonales	0.106	0.018	0.10	0.10	0.089
		54 Aparcamientos	534 Zonas ajardinadas	0.054	0.018	0.00	0.10	0.026
			541 Aparcamientos subterráneos	0.863	0.370	0.10	0.10	0.331
		55 Dotaciones y equipamientos especiales	542 Aparcamientos al aire libre	0.216	0.093	0.10	0.10	0.128
			551 Cementerios	0.372	0.372	0.00	0.50	0.199
			552 Mataderos	0.558	0.876	0.00	0.10	0.281
			553 Mercados y recintos feriales	0.086	0.086	0.00	0.10	0.045
			554 Vertederos	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000
		555 Establecimientos penitenciarios	0.493	0.211	1.00	0.25	0.680	
		56 Otras dotaciones y equipamientos	560 Otras dotaciones y equipamientos	0.493	0.211	0.50	0.25	0.430
		59 Dotaciones y equipamientos sin uso	590 Dotaciones y equipamientos sin uso	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

Tabla 7775. Valores del Indicador Agregado de Vulnerabilidad (IAV) (continuación)

$$(1) \text{ IAV} = (\text{VED} \times 0,25) + (\text{VEI} \times 0,15) + (\text{VP} \times 0,5) + (\text{VC} \times 0,1)$$

GRUPO	CLASE	USO	VED	VEI	VP	VC	IAV ⁽¹⁾		
6	61	Autopistas y carreteras	611	Autopistas y autovías	0.192	0.009	0.05	0.75	0.149
			612	Carreteras de la red estatal	0.173	0.009	0.05	0.75	0.145
			613	Carreteras de la red regional	0.154	0.009	0.05	0.50	0.115
			614	Carreteras de la red comarcal	0.125	0.009	0.04	0.50	0.103
			615	Carreteras de la red local de 1 ^{er} orden	0.106	0.009	0.04	0.25	0.073
			616	Carreteras de la red local de 2 ^o orden	0.106	0.009	0.02	0.25	0.063
			617	Carreteras municipales	0.096	0.009	0.02	0.25	0.060
	62	Otras vías	621	Otras vías rodadas y áreas pavimentadas	0.072	0.009	0.01	0.10	0.034
			622	Pasos peatonales	0.048	0.009	0.00	0.10	0.023
	63	FFCC RENFE	631	RENFE. Trazado ferroviario	0.173	0.018	0.00	0.50	0.096
			632	RENFE. Estación - apeadero	0.493	0.493	0.25	0.25	0.347
			633	RENFE. Otros elementos	0.394	0.018	0.05	0.10	0.136
	64	FFCC FEVE	641	FEVE. Trazado ferroviario	0.173	0.018	0.00	0.50	0.096
			642	FEVE. Estación - apeadero	0.493	0.493	0.25	0.25	0.347
			643	FEVE. Otros elementos	0.394	0.018	0.05	0.10	0.136
	65	Otros ferrocarriles	651	Otros FFCC. Trazado ferroviario	0.173	0.018	0.00	0.00	0.046
			652	Otros FFCC. Estación - apeadero	0.493	0.211	0.00	0.00	0.155
			653	Otros FFCC. Otros elementos	0.394	0.018	0.00	0.00	0.101
	66	Instalaciones portuarias	661	Muelles y áreas de tránsito de mercancías	0.363	0.571	0.05	0.00	0.201
			662	Equipamientos portuarios	0.493	0.211	0.50	0.00	0.405
			663	Otros elementos vinculados al uso portuario	0.558	0.876	0.05	0.00	0.296
	67	Aeropuertos y aeródromos	671	Pistas de aterrizaje	0.192	0.018	0.05	0.75	0.151
			672	Equipamientos aeroportuarios	0.484	0.207	0.25	0.75	0.352
673			Otros elementos vinculados al uso aeroport.	0.720	0.720	0.10	0.75	0.413	
68	Áreas de mantenimiento	680	Áreas de mant. de las infraestructuras viarias	0.374	0.018	0.05	0.00	0.121	
69	Infraestructuras de transporte sin uso	690	Infraestructuras de transporte sin uso	0.049	0.000	0.00	0.00	0.012	

Tabla 775. Valores del Indicador Agregado de Vulnerabilidad (IAV) (continuación)

$$(1) \text{ IAV} = (\text{VED} \times 0,25) + (\text{VEI} \times 0,15) + (\text{VP} \times 0,5) + (\text{VC} \times 0,1)$$

GRUPO	CLASE	USO	VED	VEI	VP	VC	IAV ⁽¹⁾		
7	71	Abastecimiento de agua	710	Abastecimiento de agua	0.545	0.233	0.00	1.00	0.271
	72	Saneamiento y depuración	720	Saneamiento y depuración	0.545	0.233	0.00	0.75	0.246
	73	Recogida y eliminación de residuos	730	Recogida y eliminación de residuos	0.545	0.233	0.00	0.75	0.246
	74	Transporte y suministro eléctrico	740	Transporte y suministro eléctrico	0.545	0.233	0.00	1.00	0.271
	75	Transporte y suministro de gas	750	Transporte y suministro de gas	0.545	0.233	0.00	1.00	0.271
	76	Otras infraestructuras de servicio	760	Otras infraestructuras de servicio	0.545	0.233	0.00	0.75	0.246
	77	Presas	770	Presas	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000

Tabla 77. Valores del Indicador Agregado de Vulnerabilidad (IAV) (continuación)

$$(1) \text{ IAV} = (\text{VED} \times 0,25) + (\text{VEI} \times 0,15) + (\text{VP} \times 0,5) + (\text{VC} \times 0,1)$$

		USO	IAV			USO	IAV
MUY ALTA	421	Hoteles, hostales y similares	0.825	BAJA	522	Instalaciones deportivas edificadas	0.212
	220	Edificación unifamiliar	0.776		661	Muelles y áreas de tránsito de mercancías	0.201
	514	Equipamientos sanitarios	0.755		551	Cementerios	0.199
	516	Equipamientos asistenciales	0.730		531	Parques urbanos	0.156
ALTA	210	Edificación en bloque (multifamiliar)	0.697		652	Otros FFCC. Estación - apeadero	0.155
	555	Establecimientos penitenciarios	0.680		671	Pistas de aterrizaje	0.151
	232	Área con predominio de la tipología unifamiliar	0.678		611	Autopistas y autovías	0.149
	233	Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)	0.661		612	Carreteras de la red estatal	0.145
	231	Área con predominio de la tipología en bloque	0.632		633	RENFE. Otros elementos	0.136
	234	Área de poblamiento rural	0.630		643	FEVE. Otros elementos	0.136
	511	Instalaciones del servicio de Bomberos	0.630		111	Edificación agrícola o ganadera	0.135
	512	Instalaciones de los cuerpos de seguridad	0.630		542	Aparcamientos al aire libre	0.128
	513	Instalaciones de Protección Civil	0.630		680	Áreas de mant. de las infraestructuras viarias	0.121
	515	Equipamientos educativos	0.605		613	Carreteras de la red regional	0.115
	422	Campamentos de turismo	0.582		311	Minería subterránea	0.108
	244	Infravivienda	0.577		614	Carreteras de la red comarcal	0.103
410	Instalaciones de uso comercial	0.522	653	Otros FFCC. Otros elementos	0.101		
MEIDA	430	Otros servicios terciarios	0.454	631	RENFE. Trazado ferroviario	0.096	
	560	Otras dotaciones y equipamientos	0.430	641	FEVE. Trazado ferroviario	0.096	
	673	Otros elementos vinculados al uso aeroport.	0.413	533	Paseos y sendas peatonales	0.089	
	662	Equipamientos portuarios	0.405	521	Instalaciones dep. diáfanos y al aire libre	0.084	
	350	Instalaciones de producción de energía eléct.	0.396	532	Áreas recreativas	0.075	
	672	Equipamientos aeroportuarios	0.352	615	Carreteras de la red local de 1º orden	0.073	
	241	Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda	0.351	616	Carreteras de la red local de 2º orden	0.063	
	632	RENFE. Estación - apeadero	0.347	617	Carreteras municipales	0.060	
	642	FEVE. Estación - apeadero	0.347	312	Minería aire libre	0.054	
	541	Aparcamientos subterráneos	0.331	651	Otros FFCC. Trazado ferroviario	0.046	
	340	Gasolineras y otros depósitos de combustibles	0.298	553	Mercados y recintos feriales	0.045	
	131	Instalaciones de piscicultura	0.296	621	Otras vías rodadas y áreas pavimentadas	0.034	
	313	Instalaciones vinculadas a la minería	0.296	120	Usos agrícolas no edificados	0.030	
	330	Instalaciones industriales aisladas	0.296	314	Depósitos de minerales o rocas	0.028	
	663	Otros elementos vinculados al uso portuario	0.296	322	Áreas industriales no ocupadas	0.026	
	552	Mataderos	0.281	534	Zonas ajardinadas	0.026	
	243	Otras construcciones con uso residencial	0.279	622	Pasos peatonales	0.023	
	710	Abastecimiento de agua	0.271	112	Hórreos, paneras y cabazos	0.019	
	740	Transporte y suministro eléctrico	0.271	390	Instalaciones industriales sin uso	0.014	
	750	Transporte y suministro de gas	0.271	490	Instalaciones de uso terciario desocupadas	0.012	
BAJA	321	Áreas industriales ocupadas	0.249	690	Infraestructuras de transporte sin uso	0.012	
	720	Saneamiento y depuración	0.246	139	Instalaciones de piscicultura sin uso	0.000	
	730	Recogida y eliminación de residuos	0.246	554	Vertederos	0.000	
	760	Otras infraestructuras de servicio	0.246	590	Dotaciones y equipamientos sin uso	0.000	
	242	Depósitos de combustible y similares	0.226	770	Presas	0.000	

Tabla 78. Indicador Agregado de Vulnerabilidad (IAV). Orden decreciente y clasificación cualitativa.

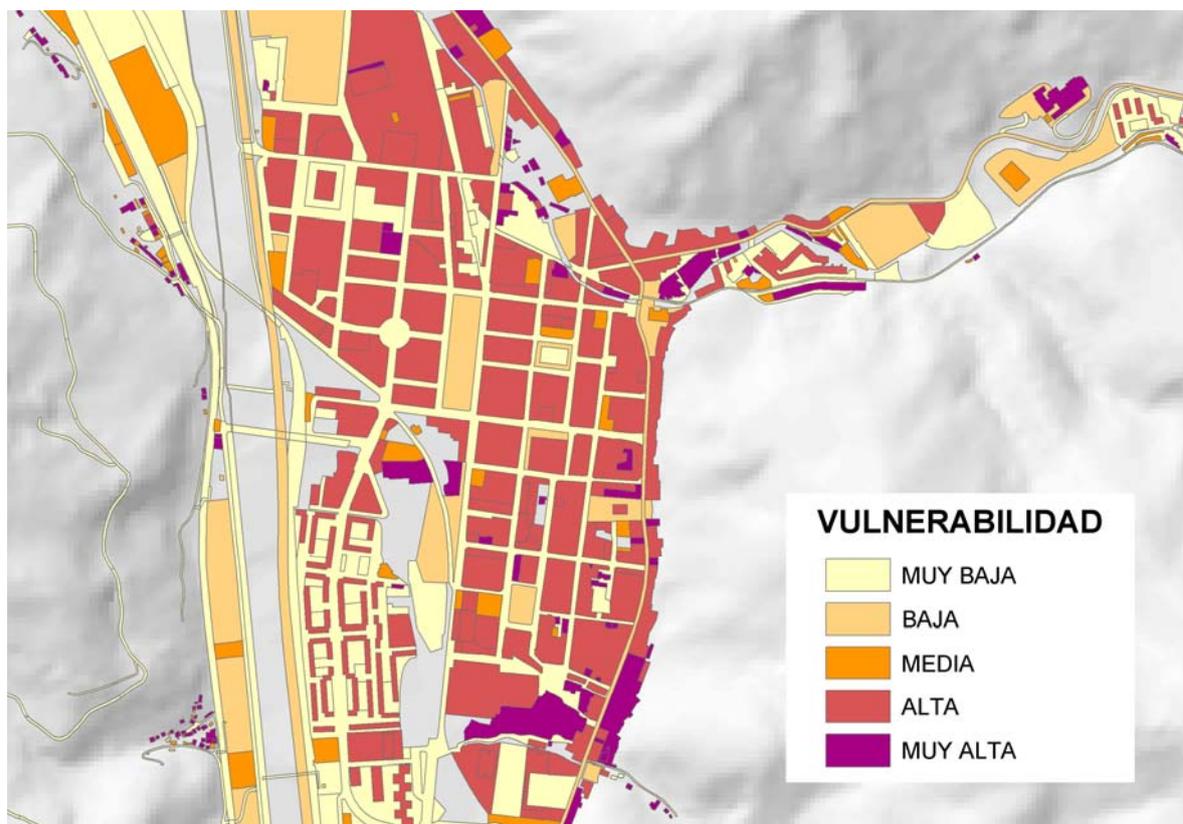


Figura 104. Representación cualitativa de los valores del Indicador Agregado de Vulnerabilidad (Mieres)

3. BIBLIOGRAFÍA

- 112 ASTURIAS (2000). *Plan Territorial de Protección Civil del Principado de Asturias*. <http://tematico.princast.es/112asturias/>. Fecha de consulta: 07-11-2004.
- Agroseguro (2002). *Informe Anual 200*. <http://www.agroseguro.es>. Fecha de consulta: 10-05-2003
- Australian Government (2001). *Economic Costs of Natural Disasters in Australia*. Department of Transport and Regional Studies, Bureau of Transport and Regional Services. <http://www.btre.gov.au/docs/r103/contents.htm>. Fecha de consulta: 07-05-2004.
- Ayala-Carcedo, F.J. (1990). Análisis de los conceptos fundamentales de riesgos y aplicación a la definición de tipos de mapas de riesgos geológicos. *Boletín Geológico y Minero*, ITGE, Madrid, 101-3: 456-467.
- Ayala-Carcedo, F.J. (2000). La ordenación del territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico administrativo de evaluación de riesgos para la población. *Boletín de la AGE*, 30: 37-49.
- Ayala-Carcedo, F.J. (2002). Introducción al análisis y gestión de riesgos. En: *Riesgos naturales* (Olcina Cantos, J y F.J. Ayala-Carcedo, eds.), Ariel, Barcelona. 133-145.
- Ayala-Carcedo, F.J. (2002b). Estrategias y medidas de mitigación del riesgo de inundaciones. Gestión de zonas inundables. En: *Riesgos naturales* (Olcina Cantos, J y F.J. Ayala-Carcedo, eds.), Ariel, Barcelona. 977-995.
- Bocgs (1998). Informe de la Comisión Especial sobre la Prevención y Asistencia en Situaciones de Catástrofe, *Boletín Oficial de las Cortes Generales*, Senado; Serie I, núm 596, 9 de diciembre de 1998.
- Cardona, O. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Director H. Barbat Barbat. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. <http://www.tdcat.cesca.es/TDX-0416102-075520/index.html>. Fecha de consulta: 14-05-2004.

- Casale, R. and Margottini, C. (Eds.) (1999). *Floods and landslides: integrated risk assessment*. Springer-Verlag, Berlín.
- Comissió de Protecció Civil de Catalunya (1997). *Plan Especial de Emergencias por Inundaciones en Cataluña* (INUNCAT).
- Conselleria D' Obres Públiques, Urbanisme i Transports DE LA Generalitat Valenciana (2002). *Plan de acción territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA)*. Direcció General d' Urbanisme i Ordenació Territorial.
http://www.cth.gva.es/espa/urbanismo/publicaciones/pdf_patricova/DOCS/patricova.exe. Fecha de consulta: 10-03-2003
- Dutta, D.; Herath, S.; Musiak, K. (2003). A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, 277: 24-49.
- Fema (2003). *Flood Insurance Manual*. MAY 2003 edition; revised October 2003. National Flood Insurance Program, Federal Emergency Management Agency (FEMA), U.S. Department of Homeland Security.
- Francés, F. (1997). *Delimitación del riesgo de inundación a escala regional en la Comunidad Valenciana*. Serie: publicaciones de divulgación técnica; colección: Cartografía Temática núm. 1. Direcció General d' Urbanisme i Ordenació Territorial; Conselleria d' Obres Públiques, Urbanisme i Transports de la Generalitat Valenciana. Valencia.
- Gobierno Vasco (1999). Acuerdo de Consejo de Gobierno de 8 de junio de 1999, por el que se aprueba el Plan Especial de Emergencias ante el riesgo de inundaciones de la Comunidad Autónoma del País Vasco. *Boletín Oficial del País Vasco*, núm. 153 de 12-08-1999.
- Kelman, I y Spence, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. *Engineering Geology*, 73: 297-309.
- Lugaresaresti Bilbao, J.L. (1994). Dos ejemplos de valoración de riesgos naturales en la provincia de Bizkaia, País Vasco. *Cuaternario y Geomorfología*, 8: 37-51.
- Mardones, M. y Vidal, C. (2001). La zonificación y evaluación de los riesgos naturales de tipo geomorfológico: un instrumento para la planificación urbana en la ciudad de Concepción. *EURE, Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales* (Santiago). vol.27, núm.81, pp. 97-122.
<http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71612001008100006&lng=en&nrm=iso>. Fecha de consulta: 11-11-2003.
- Ministro de Justicia e Interior (1995). Resolución de 31 de enero de 1995, de la Secretaría de Estado de Interior, por la que se dispone la publicación del acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. http://www.proteccioncivil.org/centrodoc/legisla/r_386595.htm. Fecha de consulta: 11-11-2002.

- Ministerio de Medio Ambiente (2000). *Libro Blanco del Agua en España*. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, 637 pp. http://hispagua.cedex.es/Grupo1/Documentos/l_b/indice.htm. Fecha de consulta: 01-04-2004.
- Nakamura, T.; Hutton, C; Kunbao, X y Gavidia, J. (2001). *Assessment of vulnerability to flood impacts and damages*. Disaster Management Programme, UNCHS (Habitat). <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/eng/doc14385/doc14385-contenido.pdf>. Fecha de consulta: 09-01-2004.
- Olcina Cantos, J (2002). Riesgos naturales y ordenación territorial. En: *Riesgos naturales* (Olcina Cantos, J y F.J. Ayala-Carcedo, eds.), Ariel, Barcelona. 1235-1304.
- Olcina Cantos, J y Ayala-Carcedo, F.J. (2002). Riesgos naturales, conceptos fundamentales y clasificación. En: *Riesgos naturales* (Olcina Cantos, J y F.J. Ayala-Carcedo, eds.), Ariel, Barcelona. 41-73.
- Parker, D.J., Green, C.H., & Thompson, P.M. (1987). *Urban Flood Protection Benefits: A Project Appraisal Guide*. Gower Technical Press, Aldershot.
- Queensland Government (2002). *Disaster Loss Assessment Guidelines*. Department of Emergency Services, Counter Disaster and Rescue Services. Final edited compilation 9 May 2002. <http://www.emergency.qld.gov.au/cdrs/mitigation/pdf/Guidelines.pdf>. Fecha de consulta: 19-01-2004.
- Read Sturgess & Associates (2000). *Rapid Appraisal Method (RAM) for Floodplain Management*. Department of Natural Resources & Environment, Melbourne.
- Sinclair Knight Merz Pty Limited (2002). *Lower Gascoyne River; Carnarvon Floodplain Management Study*. Final Report. Volume 1. Dir. Dr John W PORTER. October 2002. <http://www.wrc.wa.gov.au/region/MWG/projects/CFMS.html>. Fecha de consulta: 12-01-2004.
- Smec (1975). *Brisbane River Flood Investigations – Final Report*. Snowy Mountain Engineering Corporation for Cities Commission Canberra, Cooma.
- Smec (2002). *Narrabeen Lagoon Floodplain Risk Management Plan. Volume 2*. Warringah Council, Pittwater Council and Department of Land and Water Conservation (Australia). http://www.warringah.nsw.gov.au/narrabeen_lagoon_floodplain_2003.htm. Fecha de consulta 12-02-04.
- Snet (2003). *Análisis de riesgo por inundaciones y deslizamientos de tierra en la microcuenca del Arenal de Montserrat*. Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). San Salvador, El Salvador
- Stapel, S. and Pasanen, J. (2003). Purchasing Power Parities and related economic indicators for EU, Acceding and Candidate Countries and EFTA. Revised 1995-2000, final 2001 and preliminary 2002 results. *Statistics in Focus; Economy & Finance*, Theme 2-62/2003. EUROSTAT.

<http://europa.eu.int/comm/eurostat/Public/datashop/print-catalogue/EN?catalogue=Eurostat>. Fecha de consulta: 22-01-04.

Stephenson, D. (2002). Integrated flood plain management strategy for the Vaal. *Urban Water*. 4:425-430.

Thomalla, F.; Brown, J.; Kelman, I.; Möller, I.; Spence R. y Spencer T. (2002). *Towards An Integrated Approach for Coastal Flood Impact Assessment*. Proceedings of the Solutions to Coastal Disasters Conference, American Society for Civil Engineers (ASCE), San Diego, California, USA, 24-27 February 2002, 142-158. Full Conference Proceedings. <http://www.pik-potsdam.de/~thomalla/>. Fecha de consulta 12-01-04.

Undha (1993). *Glossary: Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management*. Geneva.

Van Der Sande, C. (2001). *River flood damage assessment using IKONOS imagery*. European Commission, Joint Research Centre, Space Applications Institute (SAI).

VIII. ESTIMACIÓN DEL RIESGO

El último paso, una vez calculadas las variables de peligrosidad y vulnerabilidad, es la estimación del riesgo. Con independencia del conjunto de factores considerados, existe un acuerdo general en que el riesgo es el resultado de la interacción de ambas variables.

Tal y como señala el Plan Territorial de Protección Civil del Principado de Asturias (PLATERPA), un análisis de riesgos consiste en la identificación de los fenómenos o sucesos de origen natural o generados por la actividad humana (o una combinación de ambos) así como de los daños para las personas, sus bienes y/o el medio ambiente que pueden producirse en un territorio concreto.

El PLATERPA señala que es necesario analizar y valorar los siguientes parámetros:

- Determinación de las zonas de afectación.
- Planificación de las medidas de intervención y prevención en esas áreas.
- Distribución en el tiempo, en caso de riesgos con carácter estacional.
- Estimación de la peligrosidad (grado de ocurrencia o probabilidad, de un evento en un período de tiempo y en un área concreta).
- Estimación de la vulnerabilidad (grado de pérdida provocado por la ocurrencia de un evento de una magnitud dada).
- Estimación de la exposición (presencia de elementos en riesgo ante el evento).

Por tanto, la relación entre peligrosidad y vulnerabilidad para obtener el riesgo se establece a través de una tercera variable denominada exposición. El propio PLATERPA sintetiza la relación entre peligrosidad, vulnerabilidad y exposición en la siguiente ecuación:

$$R = P \times E \times V$$

Donde:

- R = Riesgo
- P = Peligrosidad
- E = Exposición
- V = Vulnerabilidad

En consecuencia, para que exista riesgo no es suficiente que el fenómeno analizado afecte a una parte del territorio (peligrosidad), sino que además deben existir elementos expuestos al fenómeno (vulnerabilidad). Del mismo modo, un elemento no podrá ser considerado en riesgo si no existe la posibilidad de que se vea afectado por el tipo de fenómeno o evento objeto de evaluación. En resumen, el riesgo solo aparece en aquellas partes del territorio en las que se manifiestan simultáneamente las dos variables principales: peligrosidad y vulnerabilidad.

Los métodos y técnicas aplicadas en este trabajo han permitido, además de recopilar de forma coherente y coordinada las dos variables fundamentales, estimar la exposición gracias a la referenciación espacial de la peligrosidad y vulnerabilidad y a su integración en un sistema de información geográfica (SIG).

2. CALCULO DEL RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL

Como ya hemos señalado, el mapa de riesgo por inundaciones se obtiene a partir de la combinación de la información recogida en el análisis de la peligrosidad y la vulnerabilidad.

En el análisis de la peligrosidad se ha tenido en cuenta, además de la provocada por las inundaciones fluviales, otro tipo de procesos como la actividad torrencial o las inundaciones generadas por deficiencias de drenaje e inundaciones mareales. Sin embargo, para estimar el riesgo en el presente trabajo se ha considerado exclusivamente la peligrosidad ligada a las inundaciones por desbordamientos fluviales aunque, como más adelante veremos, el mapa de riesgo también incluye las delimitaciones de la peligrosidad provocada por los fenómenos mencionados.

La estimación del riesgo se ha realizado mediante el tratamiento de las capas temáticas en el SIG, estableciendo la relación espacial de las variables vulnerabilidad y peligrosidad, lo que en la práctica supone el cálculo de la exposición.

Los valores del riesgo por inundación fluvial se han determinado mediante la siguiente expresión:

$$Riesgo = suscep_reclas \times vulnerabilidad \quad (1)$$

Donde:

- La capa *suscep_reclas* está formada por la valoración ponderada de las zonas definidas en la peligrosidad ligada a desbordamientos fluviales.
- La capa *vulnerabilidad* toma el valor del indicador agregado obtenido aplicando la metodología expuesta en el capítulo VIII.

Los valores de ponderación de la peligrosidad incorporados a la capa *suscep_reclas* han sido elegidos mediante un ajuste por *ensayo y error*, de modo que el cruce de esta información con la vulnerabilidad ofrezca unos resultados coherentes. Dichos valores son:

- Zona de inundación muy frecuente.....1
- Zona de inundación frecuente..... 0.2
- Zona de inundación ocasional..... 0.1
- Zona de inundación excepcional..... 0.02

Tras aplicar la sencilla operación lineal indicada en la ecuación 1 se obtiene la capa de riesgo de inundaciones fluviales que comprende valores adimensionales continuos dentro del rango 0-1.

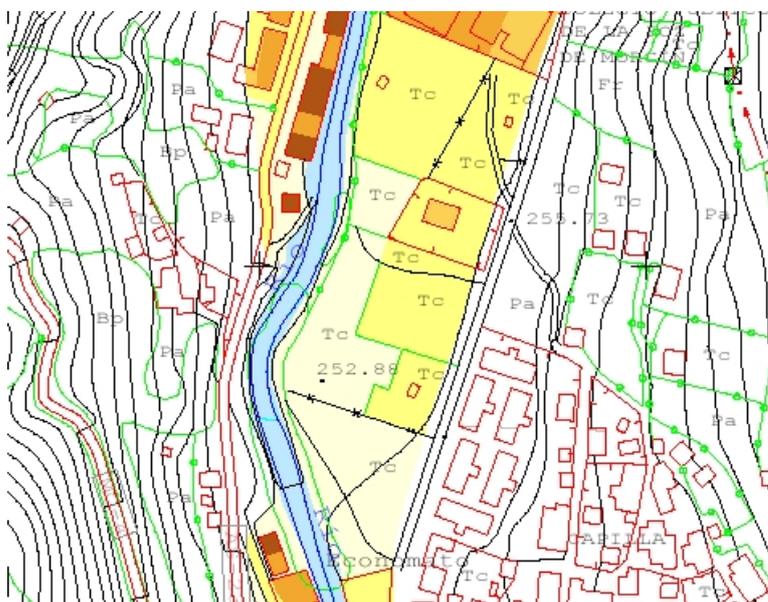


Figura 105. Representación del riesgo de inundación fluvial en el Mapa de Riesgo (La Foz, Morcín).

3. EL MAPA DE RIESGO

Para representar los valores adimensionales del riesgo, éstos se han agrupado en las 5 clases que se pueden ver en la tabla siguiente.

RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL	RANGO DE VALORES
Muy alto	> 0.454
Alto	0.126-0.454
Medio	0.045-0.126
Bajo	0.011-0.045
Muy bajo	< 0.011

Tabla 79. Clasificación de los valores de riesgo por inundación fluvial.

Esta agrupación de valores se ha realizado de modo que los resultados fueran coherentes con las conclusiones obtenidas tras el análisis de las capas de peligrosidad y de vulnerabilidad.

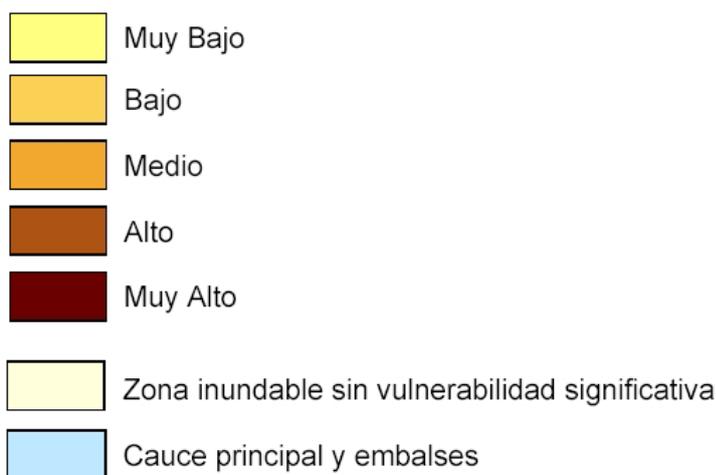


Figura 106. Leyenda del riesgo de inundación fluvial.

En el riesgo de inundación por desbordamientos fluviales se indica, además de los 5 valores de riesgo ya comentados, otras dos unidades. Por un lado se ha delimitado las zonas que aparecen inundadas la mayor parte del tiempo, aquellas representadas por el cauce principal, lagos y embalses. La extensión del canal principal es ligeramente superior al que aparece en los mapas topográficos utilizados como base del estudio, al objeto de mejorar su visualización. Por otra parte se representa la unidad definida como *zona inundable sin vulnerabilidad significativa*, la cual alberga los terrenos de la llanura aluvial que aunque han

sido zonificados atendiendo a la peligrosidad, carecen de elementos expuestos o los que existen presentan una vulnerabilidad reducida.

El mapa final incluye, además del riesgo por inundación fluvial, la peligrosidad ligada a otro tipo de procesos tales como la actividad torrencial, clasificada en peligrosidad alta, media, baja e indiferenciada (Capítulo V), junto a las inundaciones generadas por deficiencias de drenaje e inundaciones mareales (Capítulo III).



Figura 107. Leyenda de la peligrosidad ligada a otros procesos y de otras unidades representadas en Mapa de Riesgo.

Bajo el epígrafe de *Otras Unidades* se incluyen dos elementos de especial interés para los gestores. Por un lado, los puentes y demás estructuras elevadas sobre el cauce, cuyo nivel de riesgo ante una inundación requiere de un estudio detallado que excede del objetivo de este informe. Por otro se incluyen las zonas desligadas de la dinámica fluvial ubicadas sobre las llanuras aluviales analizadas (Capítulo III).

Por último, el mapa de riesgo de inundación incluye una serie de *Puntos Conflictivos*, aquellos que pueden agravar los efectos de una inundación, bien por la posibilidad de obstrucción parcial o total en la circulación del caudal, modificación del nivel de las aguas alcanzado por una avenida, desviación de la trayectoria natural de una inundación, interrupciones en determinadas infraestructuras viarias, etc. Dentro de estos elementos se incluyen puentes con especial problemática, estrechamientos del cauce, zonas de drenaje, confluencias de cauces conflictivas, zonas sometidas a erosión en estructuras antrópicas, zonas de desbordamiento potencial o entrada de inundaciones, vías deprimidas con deficiencias de drenaje y represamientos-saltos de agua (Capítulo I y III).

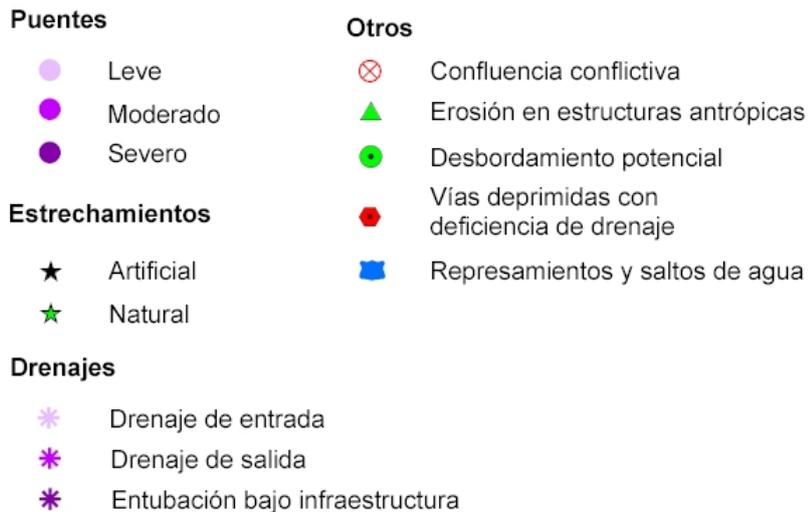


Figura 108. Leyenda de los puntos conflictivos representados en Mapa de Riesgo.

La cartografía de los mapas de riesgo de inundación ha sido organizada por subcuencas hidrográficas, de modo que para cada una de ellas existe un juego de planos numerados de la siguiente forma:

HOJA XXX-YY

Donde XXX es el número de la subcuenca, y YY es el número de hoja dentro de dicha subcuenca.

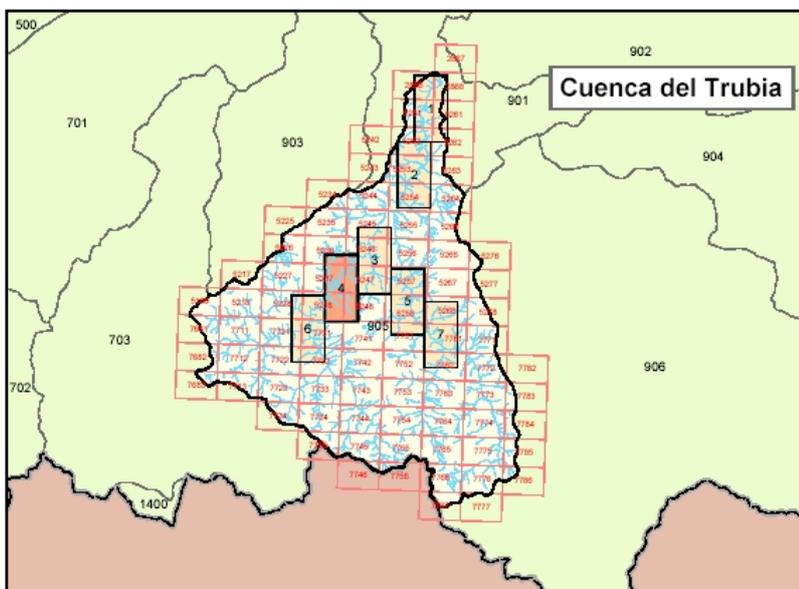


Figura 109. Distribución de hojas de la cuenca del Trubia (clave 905).

CLAVE	DENOMINACIÓN
100	EO
200	PORCIA y COSTEROS
301	BAJO NAVIA
302	ALTO NAVIA
303	AGÜEIRA
304	IBIAS
400	NEGRO y COSTEROS
500	ESVA
600	COSTA CENTRO-OCCIDENTAL
701	MEDIO NARCEA
702	ALTO NARCEA
703	PIGÜEÑA
800	COSTA CENTRAL
901	BAJO NALON
902	NORA
903	CUBIA
904	MEDIO NALON
905	TRUBIA
906	CAUDAL
907	ALTO NALON
1000	COSTA CENTRO-ORIENTAL
1101	PILOÑA
1102	BAJO SELLA
1103	ALTO SELLA
1104	GÜEÑA
1200	COSTA ORIENTAL
1300	CARES-CASAÑO
1400	SIL

Tabla 80. Codificación de las cuencas y subcuencas hidrográficas.

La escala de impresión es 1:5000 (Mapa Topográfico 1:5000 del Principado de Asturias) y se corresponde con la escala de trabajo utilizada en el presente estudio.

ANEXOS

**ANEXO 1.
ESTIMACIONES MONETARIAS DE LAS PÉRDIDAS SEGÚN
LA ACTIVIDAD**

TABLA A 1. CUANTÍA MÁXIMA DE DAÑOS POR M² SEGÚN EL MINISTERIO HOLANÉS DE TRANSPORTES (RWS)

USO	UNIDAD DE MEDIDA INICIAL	TRANSFORMACIÓN EN M ²	CUANTÍA MÁXIMA DE DAÑO POR M ² , EN EUROS DE 1995
Agricultura (daños directos)	m ²	m ²	1,18
Agricultura (daños indirectos)	m ²	m ²	0,47
Invernaderos (daños directos)	m ²	m ²	23,61
Invernaderos (daños indirectos)	m ²	m ²	9,44
Calzadas y aceras	m ²	m ²	1,56
Aguas superficiales	m ²	m ²	0,24
Recreación intensiva	m ²	m ²	15,44
Recreación extensiva	m ²	m ²	0,09
Autopistas	m	20 m anchura	23,61
Carreteras	m	10 m anchura	23,61
Otras carreteras	m	6 m anchura	15,74
Ferrocarril	m	3 m anchura	118,03
Edificación residencial / Granjas	hogar	80 m ² por hogar	1861,9

Fuente: Adaptado de *Van der Sande, C. (2001)*

TABLA A 2. CUANTÍA MÁXIMA DE DAÑOS POR M² SEGÚN HKV CONSULTORES

USO	UNIDAD DE MEDIDA INICIAL	TRANSFORMACIÓN EN M ²	CUANTÍA MÁXIMA DE DAÑO POR M ² , EN EUROS DE 1995
Invernaderos	ha	10000 m ²	22,69
Agricultura	ha	10000 m ²	0,09
Recreación	ha	10000 m ²	0,02
Contenido de una vivienda	hogar	80 m ² por hogar	567,23
Estructura de una vivienda	hogar	80 m ² por hogar	1134,45
Industria ligera	ha	10000 m ²	68,07
Carreteras y ferrocarril	km	10 m anchura	9,08

Fuente: Adaptado de *Van der Sande, C. (2001)*

TABLA A 3. TIEMPO Y COSTE DE LAS LABORES DE LIMPIEZA

TIPO DE ESTABLECIMIENTO		TIEMPO DE LIMPIEZA (EN DÍAS)	COSTES DE LIMPIEZA EN \$ DE 1999
Negocios	Pequeño (< 186 m ²)	1,95	660
	Mediano (< 186 – 650 m ²)	3,2	2.640
	Grande (> 650 m ²)	2,94	5.270
	Promedio	2,6	2.110
Industria		2,5	8.120

Fuente: Adaptado de *Australian Government (2001)*

TABLA A 4. COSTES REPRESENTATIVOS DE LOS DAÑOS CAUSADOS EN PASTOS (EN \$ DE 1999 / HA)

TIPOS DE PASTOS	DURACIÓN DE LA INUNDACIÓN	
	MENOS DE 5 A 7 DÍAS	MÁS DE 5 A 7 DÍAS
Secano	0	30
Regadío	90	370

Fuente: Adaptado de *Australian Government (2001)*

TABLA A 5. DAÑOS POTENCIALES DIRECTOS EN EDIFICACIÓN COMERCIAL (\$ de 1999)

PROFUNDIDAD DEL AGUA (M)	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD DEL NEGOCIO ANTE UNA INUNDACIÓN				
	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
Superficie de planta < 186 m²					
0	0	0	0	0	0
0,25	1.985	3.970	7.939	15.878	31.756
0,75	4.962	9.924	19.848	39.695	79.391
1,25	7.443	14.885	29.771	59.543	119.086
1,75	8.270	16.540	33.079	66.159	132.318
2	8.765	17.532	35.064	70.128	140.257
Superficie de planta de 186 m² a 650 m²					
0	0	0	0	0	0
0,25	6.286	12.570	25.140	50.281	100.561
0,75	15.217	30.433	60.866	121.732	243.464
1,25	23.156	46.311	92.622	185.245	370.489
1,75	25.636	51.273	102.546	205.092	410.184
2	27.290	54.581	109.162	218.324	436.648
Superficie de planta > 650 m²					
0	0	0	0	0	0
0,25	3	7	14	28	57
0,75	18	37	74	142	286
1,25	37	75	150	300	599
1,75	61	123	246	492	984
2	74	147	294	588	1.176

Fuente: Adaptado de *Australian Government (2001)*

TABLA A 6. CUANTÍA ESTIMADA DE LOS DAÑOS DIRECTOS MEDIOS EN PROPIEDADES COMERCIALES.

TIPO DE NEGOCIO	PROFUNDIDAD DEL AGUA (M)		
	0,5	1	1,5
Industria ligera	\$114.900	\$181.200	\$281.200
Peluquería / Estética	\$15.742	\$26.792	\$130.792
Oficinas	\$109.289	\$178.020	\$376.620
Restaurantes / Cafeterías	\$117.436	\$168.652	\$268.652
Comercio minorista	\$323.232	\$425.351	\$911.351
Servicios médicos y dentales	\$219.433	\$250.258	\$355.258

Fuente: Adaptado de *Australian Government (2001)*

TABLA A 7. CUANTÍA ESTIMADA DE LOS DAÑOS DIRECTOS EN PROPIEDADES RESIDENCIALES

TIPO	CATEGORÍA DE VALOR	VALOR DE LA PROPIEDAD (EN MILES DE \$)	DAÑOS INTERNOS (CONTENIDOS)	DAÑOS EXTERNOS	DAÑOS ESTRUCTURALES
CASAS	Muy alto	1.500 - 700	\$30.042	\$3.303	\$20.560
	Alto	700 - 550	\$18.443	\$2.019	\$11.568
	Bajo	550 - 350	\$17.742	\$1.922	\$10.308
	Muy bajo	350 - 300	\$16.902	\$1.854	\$9.204
PISOS	Muy alto	550 - 400	\$65.361	\$7.187	\$44.732
	Alto	400 - 300	\$33.104	\$3.623	\$20.763
	Bajo	300 - 250	\$28.402	\$3.077	\$16.501
	Muy bajo	250 - 200	\$24.491	\$2.686	\$13.336

Fuente: Adaptado de *Australian Government (2001)*

TABLA A 8. COSTES ESTIMADOS DE LOS DAÑOS EN CARRETERAS Y PUENTES (POR KM DE CARRETERA INUNDADA, EN \$ DE 1999)

TIPO DE VÍA	REPARACIONES INICIALES	ACELERACIÓN EN EL DETERIORO DE LA VÍA	REPARACIÓN DE PUENTES	COSTE TOTAL
Pavimentadas principales	32.000	16.000	11.000	59.000
Pavimentadas secundarias	10.000	5.000	3.500	18.500
No pavimentadas	4.500	2.250	1.600	8.350

Fuente: Adaptado de *Queensland Government (2002)*

ANEXO 2. TIPOS DE ELEMENTOS EN RIESGO



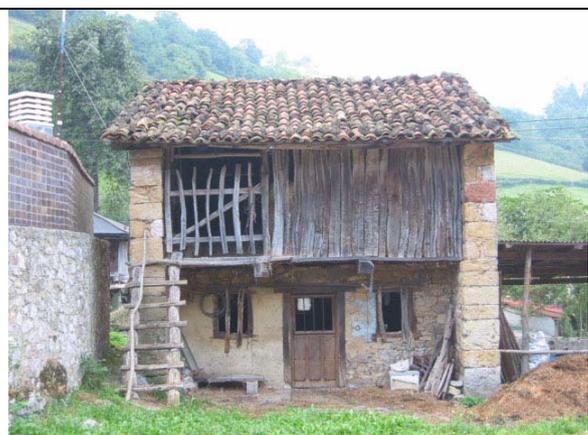
111 Edificación agrícola o ganadera



111 Edificación agrícola o ganadera



111 Edificación agrícola o ganadera



111 Edificación agrícola o ganadera



112 Hórreos, paneras y cabazos



112 Hórreos, paneras y cabazos



120 Usos agrícolas no edificados



120 Usos agrícolas no edificados



120 Usos agrícolas no edificados



131 Instalaciones de piscicultura



131 Instalaciones de piscicultura



210 Edificación en bloque (multifamiliar)



210 Edificación en bloque (multifamiliar)



210 Edificación en bloque (multifamiliar)



220 Edificación unifamiliar



220 Edificación unifamiliar



220 Edificación unifamiliar



231 Área con predominio de la tipología en bloque



231 Área con predominio de la tipología en bloque



232 Área con predominio de la tipología unifamiliar



231 Área con predominio de la tipología en bloque



231 Área con predominio de la tipología en bloque



232 Área con predominio de la tipología unifamiliar



232 Área con predominio de la tipología unifamiliar



232 Área con predominio de la tipología unifamiliar



233 Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)



233 Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)



233 Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)



233 Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)



233 Área de tipología mixta (bloque-unifamiliar)



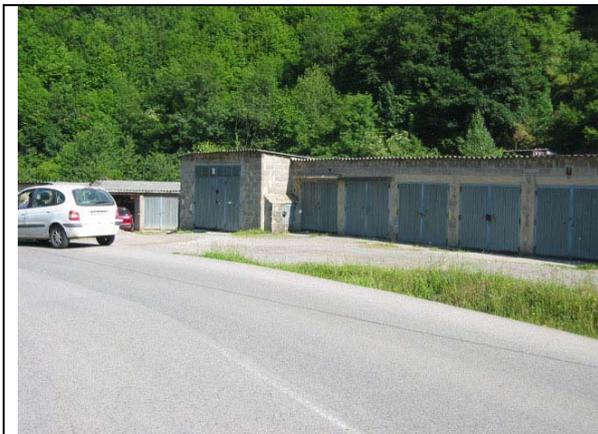
234 Área de poblamiento rural



234 Área de poblamiento rural



234 Área de poblamiento rural



241 Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda



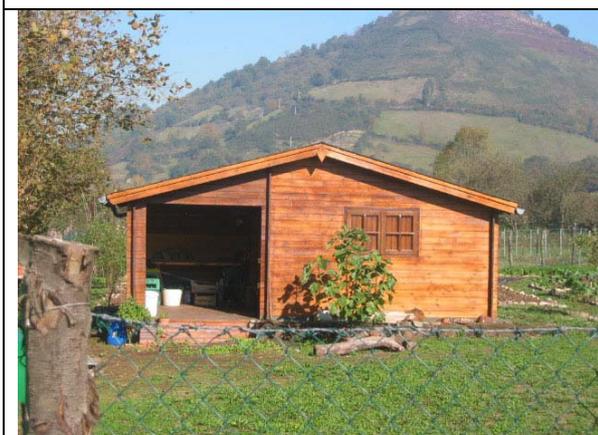
241 Edificaciones con uso auxiliar a la vivienda



242 Depósitos de combustible y similares vinculados a la vivienda



243 Otras construcciones con uso residencial



243 Otras construcciones con uso residencial



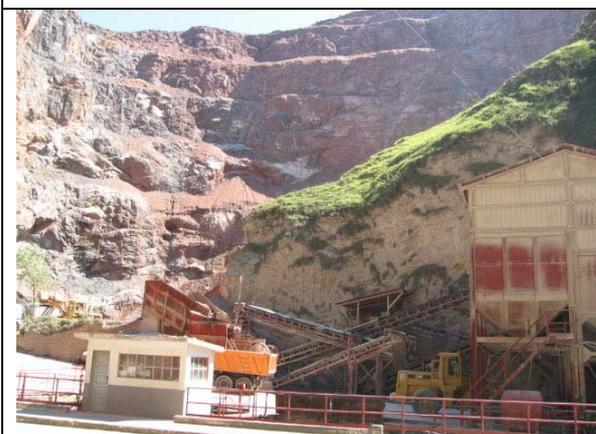
244 Infravivienda



311 Minería subterránea



311 Minería subterránea



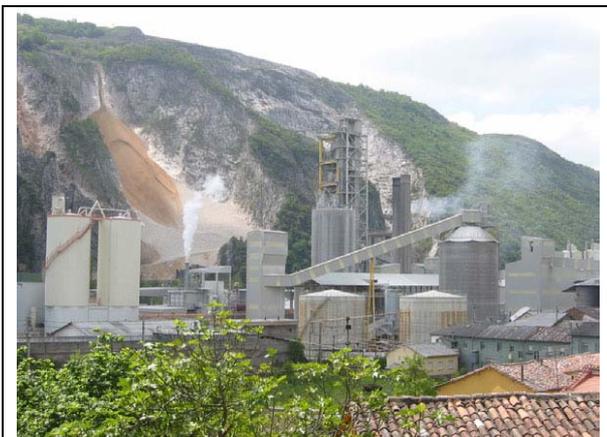
312 Minería aire libre



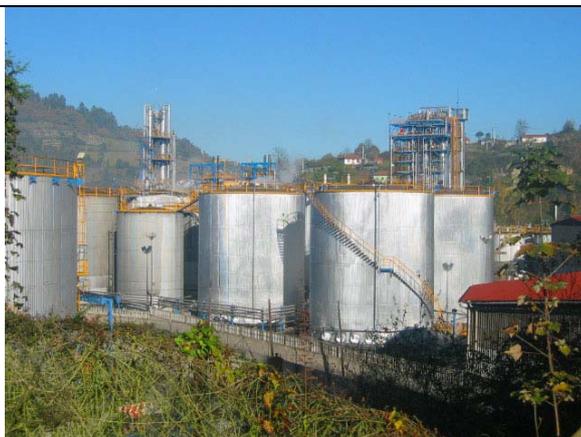
314 Depósitos de minerales o rocas



313 Instalaciones vinculadas a la minería



321 Áreas industriales ocupadas



321 Áreas industriales ocupadas



321 Áreas industriales ocupadas



321 Áreas industriales ocupadas



321 Áreas industriales ocupadas



321 Áreas industriales ocupadas



321 Áreas industriales ocupadas



322 Áreas industriales no ocupadas



322 Áreas industriales no ocupadas



322 Áreas industriales no ocupadas



330 Instalaciones industriales aisladas



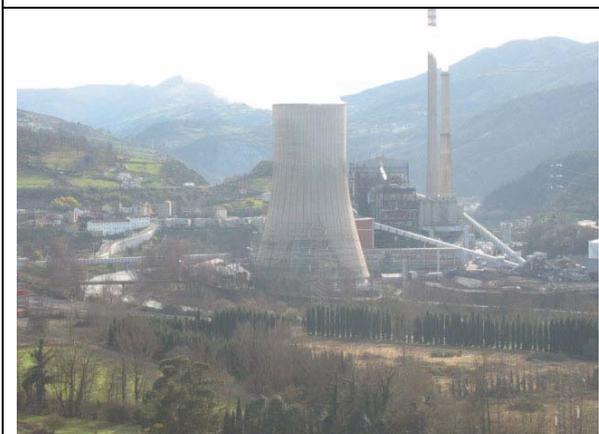
330 Instalaciones industriales aisladas



340 Gasolineras y otros depósitos de combustibles



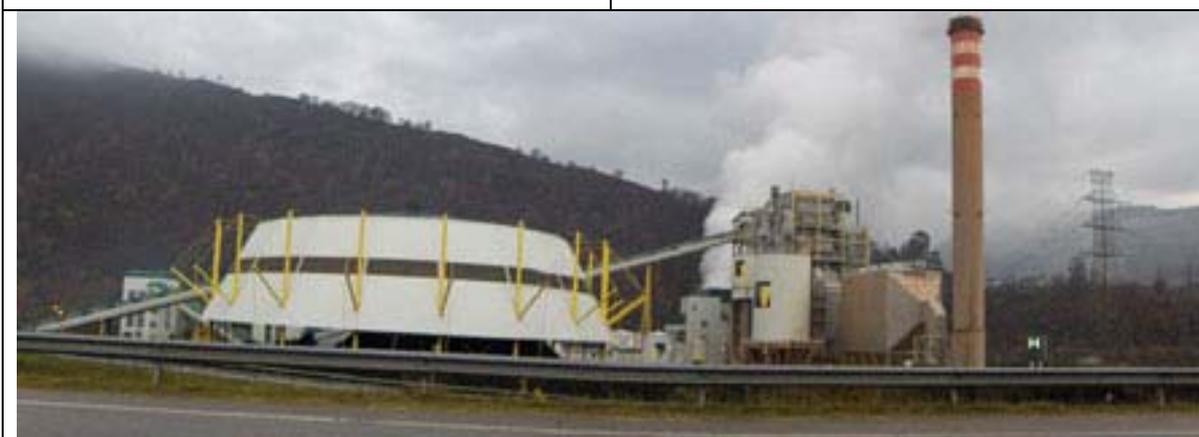
340 Gasolineras y otros depósitos de combustibles



350 Instalaciones de producción de energía eléctrica



350 Instalaciones de producción de energía eléctrica



350 Instalaciones de producción de energía eléctrica



390 Instalaciones industriales sin uso



390 Instalaciones industriales sin uso



390 Instalaciones industriales sin uso



390 Instalaciones industriales sin uso



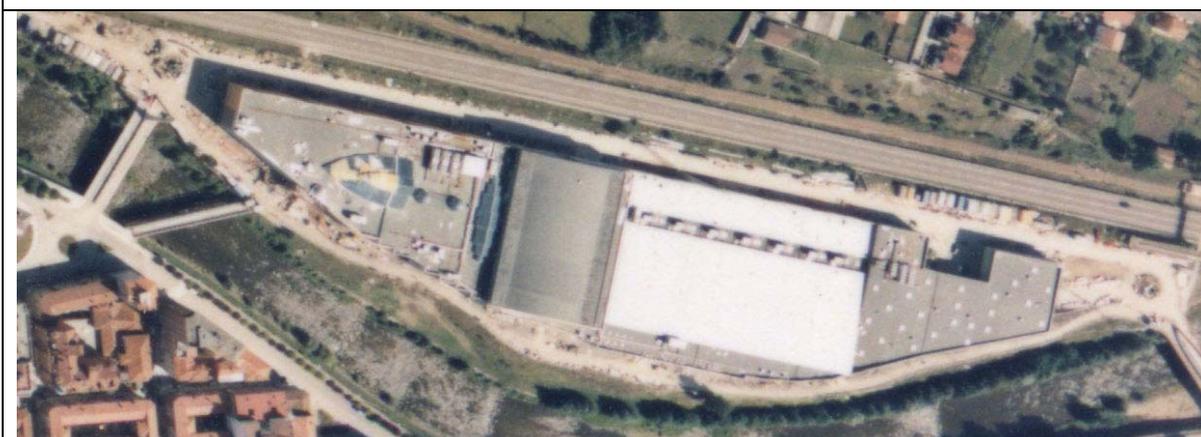
410 Instalaciones de uso comercial



410 Instalaciones de uso comercial



410 Instalaciones de uso comercial



410 Instalaciones de uso comercial



421 Hoteles, hostales y similares



421 Hoteles, hostales y similares



421 Hoteles, hostales y similares



430 Otros servicios terciarios



430 Otros servicios terciarios



430 Otros servicios terciarios



490 Instalaciones de uso terciario desocupadas



422 Campamentos de turismo



511 instalaciones del servicio de Bomberos



512 Instalaciones de los cuerpos de seguridad



513 Instalaciones de Protección Civil



514 Equipamientos sanitarios



514 Equipamientos sanitarios



514 Equipamientos sanitarios



515 Equipamientos educativos



515 Equipamientos educativos



515 Equipamientos educativos



515 Equipamientos educativos



516 Equipamientos asistenciales



516 Equipamientos asistenciales



521 Equipamientos deportivos al aire libre



521 Equipamientos deportivos al aire libre



521 Equipamientos deportivos al aire libre
522 Equipamientos deportivos edificados



522 Equipamientos deportivos edificados



522 Equipamientos deportivos edificados



531 Parques urbanos



531 Parques urbanos



531 Parques urbanos



532 Áreas recreativas



533 Paseos y sendas peatonales



533 Paseos y sendas peatonales



534 Zonas ajardinadas



541 Aparcamientos subterráneos



542 Aparcamientos al aire libre



542 Aparcamientos al aire libre



551 Cementerios



551 Cementerios



552 Mataderos



553 Mercados y recintos feriales



560 Otras dotaciones y equipamientos



560 Otras dotaciones y equipamientos



560 Otras dotaciones y equipamientos



560 Otras dotaciones y equipamientos



560 Otras dotaciones y equipamientos



560 Otras dotaciones y equipamientos



560 Otras dotaciones y equipamientos



590 Dotaciones y equipamientos sin uso



611 Autopistas y autovías
631 RENFE. Trazado ferroviario



611 Autopistas y autovías
631 RENFE. Trazado ferroviario



612 Carreteras de la red estatal



613 carreteras de la red regional



614 Carreteras de la red comarcal



617 Carreteras municipales



622 Pasos peatonales



622 Pasos peatonales



631 RENFE. Trazado ferroviario



631 RENFE. Trazado ferroviario



631 RENFE. Trazado ferroviario



632 RENFE. Estación - apeadero



641 FEVE. Trazado ferroviario



641 FEVE. Trazado ferroviario



641 FEVE. Trazado ferroviario



642 FEVE. Estación - apeadero



643 FEVE. Otros elementos



661 Muelles y áreas de tránsito de mercancías



661 Muelles y áreas de tránsito de mercancías



662 Equipamientos portuarios



663 Otros elementos vinculados al uso portuario



680 Áreas de mantenimiento de las infraestructuras viarias



710 Abastecimiento de agua



710 Abastecimiento de agua



710 Abastecimiento de agua



720 Saneamiento y depuración



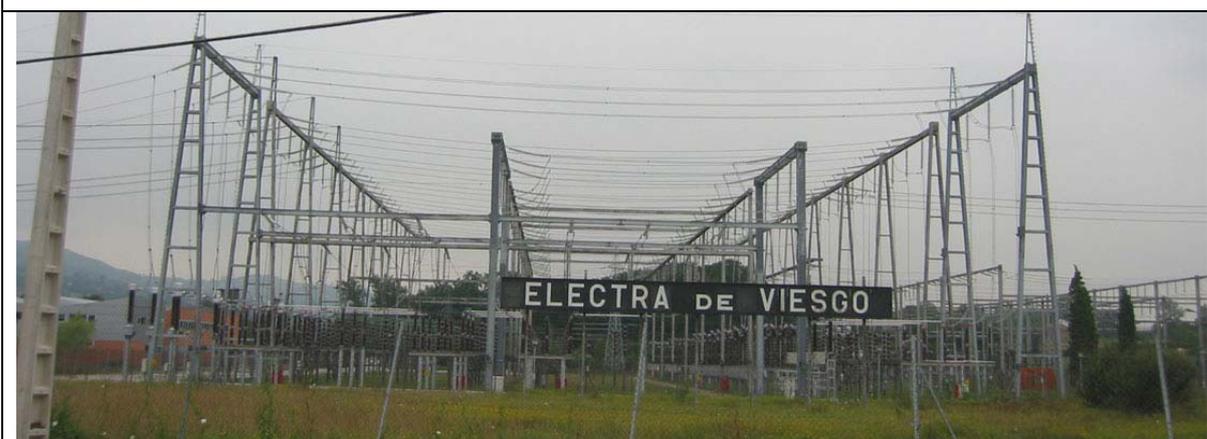
720 Saneamiento y depuración



720 Saneamiento y depuración



730 Recogida y eliminación de residuos



740 Transporte y suministro eléctrico



740 Transporte y suministro eléctrico



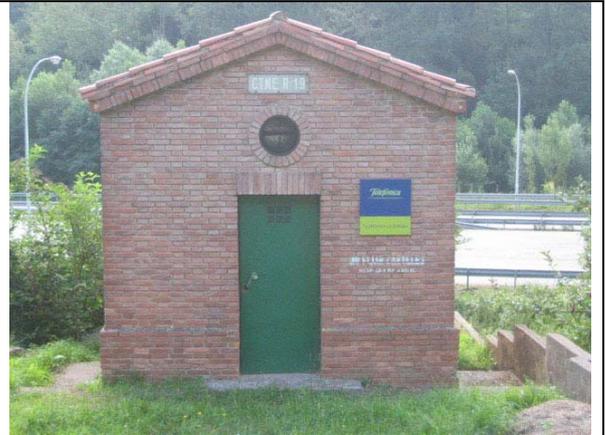
740 Transporte y suministro eléctrico



750 Transporte y suministro de gas



750 Transporte y suministro de gas



760 Otras infraestructuras de servicio



770 Presas



770 Presas



770 Presas

ANEXO II – UMBRALES DE LOS SISTEMAS DE PREVISION Y ALERTA

1.- FENÓMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS - AEMET

A partir del *Plan Nacional de Predicción y Vigilancia de Fenómenos Meteorológicos Adversos* (METEOALERTA) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), se reciben en el Centro de Coordinación de Emergencias de 112 Asturias los boletines de avisos relacionados con el fenómeno meteorológico adverso que corresponda, cuando según las predicciones se prevé que se vaya a superar el umbral establecido en la región. En el caso de la Comunidad Autónoma del Principado de Asturias los umbrales para el parámetro precipitación que determinan la activación de los tres niveles de alerta del Plan Meteoalerta son:

ASTURIAS: UMBRALES DE PRECIPITACION – AEMET

ZONA METEOROLOGICA	Precipitación (mm) 12 h			Precipitación (mm) 1 h			Nieve cm		
	A	N	R	A	N	R	A	N	R
Litoral occidental asturiano	40	80	120	15	30	60	2	5	20
Litoral oriental asturiano	40	80	120	15	30	60	2	5	20
Suroccidental asturiana	40	80	120	15	30	60	5	20	40
Central y Valles Mineros	40	80	120	15	30	60	2	5	20
Cordillera y Picos de Europa	40	80	120	15	30	60	5	20	40

Dependiendo del nivel de alerta desde el CECOP se cursan avisos a los distintos grupos intervinientes en el PLANINPA.

2.- SISTEMAS DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL CANTABRICO (CHC)

Información que facilita la Confederación Hidrográfica del Cantábrico desde el Centro de Control de Cuenca (CECU) ubicado en Oviedo:

Información hidrológica: umbrales de nivel en ríos que desencadena unos criterios de actuación.

Se establecen tres umbrales de cota de nivel

UMBRAL DE ACTIVACION

Es la cota de nivel que define el paso de la situación de normalidad a la situación de “seguimiento”. Es una cota establecida con el objetivo de, una vez superada, incrementar la atención a los datos que se reciben de las estaciones por si empeora la situación. Es un umbral de funcionamiento interno y no tiene repercusiones de aviso externo distinto de los sistemas de previsión y alerta de guardia del PLANINPA..

UMBRAL DE PREALERTA

Define la cota de “preocupación” que obliga a un seguimiento personalizado de la evolución de los datos, comunicación a los responsables de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, así como a los miembros de los sistemas de previsión y alerta del PLANINPA. Esto último se realizará vía Centro de Coordinación de Emergencias de 112 Asturias.

El CCE transmitirá a su vez a Técnicos de Coordinación y de Protección Civil de guardia, Jefe del Área de Gestión y Coordinación de Emergencias de 112 Asturias.

UMBRAL DE ALERTA

Define la cota a partir de la que se pueden producir situaciones de alarma por daño o riesgos que obliga a la comunicación a través del CCE de 112 Asturias a los responsables de los sistemas de previsión y alerta, así como al Gerente de 112 Asturias y a los responsables de los Grupos de Acción y Alcaldes de los Concejos afectados.

A continuación se exponen los umbrales de los distintos sistemas disponibles:

- **Red SAICA** (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas)

ESTACIONES SAICA -ASTURIAS					
Estación	Río	Localidad	Umbrales de Nivel (cm)		
			Activacion	Prealerta	Alerta
Estación Q122:	Eo	San Tirso de Abres	220	300	400
Estación Q103	Narcea	Quinzanas	220	300	380
Estación Q102	Nalón	Grullos	350	450	600
Estación Q121:	Nalón	Palomar	280	350	520
Estación Q101	Sella	Arriondas	350	470	650
Estación Q120:	Deva	Panes	280	380	450

- **Estaciones ROEA:** Red oficial de estaciones de aforo:

ESTACIONES ROEA - ASTURIAS					
Estación	Río	Localidad	Umbrales de Nivel (cm)		
			Activacion	Prealerta	Alerta
A048X	Eo	San Tirso de Abres	220	300	400
A609X:	Esva	Trevías	250	300	350
A073X	Piloña	Villamayor	180	250	300
A602X:	Sella	Cangas de Onís	260	320	390
A074X:	Bedón	Rales	120	180	230
A078X	Deva	Penduelles	220	280	350

- **Estaciones de aforo:** La Confederación Hidrográfica del Cantábrico dispone de una red de estaciones de aforo. Hay estaciones de aforo manuales controladas por empresas de mantenimiento. Se trata de escalas situadas en distintas zonas de los cauces que permiten hacer un seguimiento manual en situaciones de avenidas o de predicción de avenidas. Están ubicadas en:
 - Río Bedón, Rales
 - Río Ponga, Sobrefoz
 - Río Nalón, el Condado
 - Río Nora, San Cucao
 - Río Narcea, Corias
 - Río Pigüeña, Puente San Martín
 - Río Narcea, Requejo
 - Río Lena, Vega de Rey
 - Río Aller, Moreda
 - Río Caudal, Parteayer
 - Río Cubia, Grado
 - Río Esva, Trevías
 - Río Negro, Luarca
 - Río Porcía, Sueiro
 - Río Deva, Panes
 - Río Cares, Poncebos
 - Río Cares, Mier-Alles
 - Río Sella, Cangas de Onís
 - Río Piloña, Ozanes
 - Río Piloña, Villamayor
 - Río Ibias, San Antolín
 - Río Eo, San Tirso de Abres

Previsión pluviométrica

- **Informe Hirlam:** Umbrales de activación

Umbral de previsión de precipitación media de la cuenca acumulada en 24 horas ≥ 30 mm
Se establece predicción de precipitación en el sistema de cuenca para D+2 (tres días).

3.- SISTEMA DE AVISO DEL ESTADO DE LAS PRESAS

Aquellas presas que disponen de **Plan de Emergencia de Presa** tienen unos protocolos de aviso para los distintos Escenario de emergencia. Esta comunicación se realiza a la CHC y a 112 Asturias:

Escenario de control de la seguridad o «Escenario 0»: Las condiciones existentes y las previsiones, aconsejan una intensificación de la vigilancia y el control de la presa, no requiriéndose la puesta en práctica de medidas de intervención para la reducción del riesgo.

Escenario de aplicación de medidas correctoras o «Escenario 1»: Se han producido acontecimientos que de no aplicarse medidas de corrección (técnicas, de explotación, desembalse, etc.), podrían ocasionar peligro de avería grave o de rotura de la presa, si bien la situación puede solventarse con seguridad mediante la aplicación de las medidas previstas y los medios disponibles.

Escenario excepcional o «Escenario 2»: Existe peligro de rotura o avería grave de la presa y no puede asegurarse con certeza que pueda ser controlado mediante la aplicación de las medidas y medios disponibles.

Escenario límite o «Escenario 3»: La probabilidad de rotura de la presa es elevada o ésta ya ha comenzado, resultando prácticamente inevitable el que se produzca la onda de avenida generada por dicha rotura.

El resto de las presas tiene en sus Normas de Explotación unos protocolos de aviso a la CHC.

Los titulares de las presas envían diariamente al servicio de Hidrología de CHC un fax con el estado de los embalses.

TABLA PRESAS DE ASTURIAS

PRESA	SUBCUENCA	RIO	CONCEJO	TITULAR	PLAN DE EMERGENCIA DE PRESA
Priañes	Nora	Nora	Oviedo, Las Regueras	Hidrocantábrico	SI
La Mortera	Caudal	Mortera	Morcin	Estado	NO
Arbón	Bajo Navia	Navia	Villayón y Coaña	Electra del Riesgo S.A.	SI
Alfilorios	Bajo Nalón	Barrea	Ribera de Arriba	Estado	SI
La Barca	Medio-Bajo Narcea	Narcea	Tineo y Belmonte de Miranda	Hidrocantabrico	SI

PRESA	SUBCUENCA	RIO	CONCEJO	TITULAR	PLAN DE EMERGENCIA DE PRESA
Doiras	Alto Navia	Navia	Illano, Boal	Electra del Riesgo, S.A.	SI
La Florida	Alto Narcea	Narcea	Tineo	Hidrocantabrico	SI
La Granda	Costa Central	Granda	Gozón	Arcelor Mittal	SI
Rioseco	Alto Nalón	Nalón	Sobrescobio	Hidrocantabrico	SI
S. Andrés de los Tacones	Costa Central	Aboño	Gijón	Arcelor Mittal	SI
Tanes	Alto Nalón	Nalón	Caso, Sobrescobio	Hidrocantabrico	SI
Trasona	Costa Central	Alvares	Corvera	Arcelor Mittal	SI
Valdemurio	Trubia	Quirós	Quiros	Hidrocantabrico	SI
Salime	Alto Navia	Navia	Grandas de Salime	Hidrocantabrico	SI
El Furacón	Bajo Nalón	Nalón	Oviedo	Hidrocantábrico	NO
La Jocica	Alto Sella	Dobra	Amieva	Navarro, S.A.	NO
Orjales	Porcía y Costeros	Orjales	Tapia Cas.		NO
Poncebos	Cares-Casaño	Cares	Cabrales	Hidrocantábrico	NO
La Riera	Pigüeña	Somiedo	Somiedo	Hidrocantábrico	NO
Saliencia	Pigüeña	Saliencia	Somiedo	Hidrocantábrico	NO
Sandín	Caudal	Sandín	Mieres		NO
Somiedo	Pigüeña	Somiedo	Somiedo	Hidrocantábrico	NO
Valle II	Pigüeña	Somiedo	Somiedo	Hidrocantabrico	SI
Valduno I	Bajo Nalón	Nalón	Las Regueras	Hidromedia	NO
Valduno II	Bajo Nalón	Nalón	Grado, Las Regueras	Hidromedia	16-06-09

ANEXO III – PROCEDIMIENTOS DE COMUNICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PREVISION Y ALERTA

CADENA DE AVISOS DE LOS SISTEMAS DE PREVISION Y ALERTA

PROCEDENCIA AVISO	TIPO DE ALERTA									
	POR NIVEL RIO			PRECIPITACIÓN HIRLAM	PRECIPITACION AEMET			SITUACIONES PRESAS		
	ACTIVACION	PREALERTA	ALERTA	>= 30 mm/24 h	AMARILLO	NARANJA	ROJO	ESC 0	ESC 1,2	ESC 2, 3
CHC	AVISO INTERNO	AVISO INTERNO	AVISO INTERNO	AVISO INTERNO						
	PROTECCION CIVL 112	CCE-112	CCE-112	CCE-112						
	DELEGACION DEL GOBIERNO	DELEGACION DEL GOBIERNO	DELEGACION DEL GOBIERNO	DELEGACION DEL GOBIERNO						
AEMET					CCE-112	CCE-112	CCE-112			
TITULAR PRESAS								CHC	CHC	CHC
									CCE-112	CCE-112
									DELG GOBIERNO	DELG GOBIERNO
										POBLACION

ANEXO IV – PROCEDIMIENTOS DE COMUNICACION EN FASE DE PREEMERGENCIA Y EN FASE DE EMERGENCIA

CCE - 112 ASTURIAS - PROTOCOLOS DE COMUNICACION - FASE DE PREEMERGENCIA

TIPO DE ALERTA									
POR NIVEL RIO			PRECIPITACIÓN HIRLAM	PRECIPITACION AEMET			PLAN EMERGENCIA PRESA		
ACTIVACION	PREALERTA	ALERTA	>= 30 mm/24 h	AMARILLO	NARANJA	ROJO	ESCENARIO 1	ESCENARIOS 2,3	
CADENA DE AVISOS DESDE EL CCE	Técnico protección civil	Técnico protección civil	Técnico protección civil	Técnico protección civil	Técnico protección civil	Técnico protección civil	Técnico protección civil	Técnico protección civil	Técnico protección civil
	Técnico coordinación	Técnico coordinación	Técnico coordinación	Técnico coordinación	Técnico coordinación	Técnico coordinación	Técnico coordinación	Técnico coordinación	Técnico coordinación
		Jefe Area Gestión y coordinación de Emergencias	Jefe Area Gestión y coordinación de Emergencias			Jefe Area Gestión y coordinación de Emergencias			
			Gerente 112				Gerente 112		Gerente 112
			Responsables Ayuntamientos afectados				Responsables Ayuntamientos afectados		Responsables Ayuntamientos afectados
			Responsables Grupos de Acción				Responsables Grupos de Acción		Responsables Grupos de Acción

CCE - 112 ASTURIAS - PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN - FASE DE EMERGENCIA

	MOVILIZACION	
SITUACION 0	CCE	Jefe Area Gestion y Coordinación de Emergencias
		Técnico de Coordinación de Guardia
	GERENTE 112 ASTURIAS	
	GRUPOS OPERATIVOS DE LA ZONA AFECTADA	Bomberos
		Policía local y guardia civil
		Unidad sanitaria asistencial de la zona
GRUPO PREVISION Y SEGUIMIENTO	CHC y Tecnico PC de guardia	
SITUACION 1	DIRECTOR DEL PLAN	Consejera de Presidencia , Justicia e Igualdad
	CCE	Jefe Area Gestion y Coordinación de Emergencias
		Técnico de Coordinación de Guardia
	COIMTE DE DIRECCION	Viceconsejera
		Director Gral Seguridad Pública

	MOVILIZACION	
SITUACION 1 (continuación)		Gerente 112 Asturias
		Gerente Bomberos PA
	COMITÉ ASESOR	Jefe Dpto Protección Civil
	GABINETE DE INFORMACION	Jefe Gabinete Prensa Consejería de Presidencia, Justicia e Igualdad
		Servicio prensa 112 Asturias
	GRUPO INTERVENCION	Jefe Intervención Bomberos
		Jefe Supervisor de Bomberos de Asturias
		Bomberos zona afectada
	GRUPO SANITARIO	Responsable SAMU
		Centro Coordinador SAMU
	GRUPO DE APOYO TECNICO	Técnico CHC y técnico Protección Civil de Guardia
	JEFE GRUPO DE ORDEN	Jefe Policía Local zona
GRUPO LOGISTICO	Técnico PC de guardia	
	Agrupación voluntarios PC de la zona	
SITUACION 2	DIRECTOR DEL PLAN	Consejera de Presidencia, Justicia e Igualdad
	CCE	Jefe Area Gestion y Coordinación de Emergencias
		Técnico de Coordinación de Guardia

	MOVILIZACION	
SITUACION 2 (continuación)	COMITE DE DIRECCION	Viceconsejera
		Director Gral Seguridad Pública
		Gerente 112 Asturias
		Gerente Bomberos PA
	COMITÉ ASESOR	Rep Delegación del Gobierno
		Jefe Dpto Protección Civil
		Jefe Dpto. Comunicaciones
		Rep. CHC
		Tecnico PC
		Alcaldes Concejos afectados
		Rep Consej. MA, Ord. Territorio..
		Rep. Salud Pública
	GABINETE DE INFORMACION	Rep AEMET
		Jefe Gabinete Prensa Consejería de Presidencia, Justicia e Igualdad
	GRUPO INTERVENCION	Servicio prensa 112 Asturias
		Jefe Intervención Bomberos
	GRUPO SANITARIO	Bomberos zona afectada
		Responsable SAMU
GRUPO DE APOYO TECNICO	Centro Coordinador SAMU	
	Técnico CHC	
GRUPO DE ORDEN	Policía Local Concejos afectados	

	MOVILIZACION	
SITUACION 2 (continuación)		Comandancias de la Guardia Civil afectadas
	GRUPO LOGISTICO	Técnico PC de guardia
		Agrupación voluntarios PC de la zona
SITUACION 3	DIRECTOR DEL PLAN	Representante Ministerio Interior
	CCE	Jefe Area Gestion y Coordinación de Emergencias
		Técnico de Coordinación de Guardia
	COMITE DE DIRECCION	Consejera de Presidencia, Justicia e Igualdad
		Viceconsejera
		Director Gral Seguridad Pública
		Gerente 112 Asturias
		Gerente Bomberos PA
	COMITÉ ASESOR	Rep Delegación del Gobierno
		Jefe Dpto Protección Civil
		Jefe Dpto. Comunicaciones
		Rep. CHC
		Tecnico PC
Alcaldes Concejos afectados		
Rep Consej. MA, Ord. Territorio..		
Rep. Salud Pública		

	MOVILIZACION	
SITUACION 3 (continuación)		Rep AEMET
	GABINETE DE INFORMACION	Jefe Gabinete Prensa Consejería de Presidencia, Justicia e Igualdad
		Servicio prensa 112 Asturias
	GRUPO INTERVENCION	Jefe Intervención Bomberos
		Bomberos zona afectada
	GRUPO SANITARIO	Responsable SAMU
		Centro Coordinador SAMU
	GRUPO DE APOYO TECNICO	Técnico CHC
	GRUPO DE ORDEN	Policía Local Concejos afectados
		Comandancias de la Guardia Civil afectadas
GRUPO LOGISTICO	Técnico PC de guardia	
	Agrupación voluntarios PC de la zona	

ANEXO V – PLANES DE EMERGENCIA DE PRESA APROBADOS

LOS PLANES DE EMERGENCIA DE PRESAS APROBADOS A FEBRERO DE 2010 SON:

- LA BARCA
- LA FLORIDA
- LA GRANDA
- RIOSECO
- SAN ANDRES DE LOS TACONES
- TANES
- TRASONA
- VALDEMURIO
- VALDUNO II
- VALLE II

LOS DOCUMENTOS CORRESPONDIENTES A ESTOS PLANES DE EMERGENCIA DE PRESA ESTAN DISPONIBLES EN FORMATO DIGITAL EN LOS ORGANOS DE DIRECCION, COORDINACION, Y APOYO TECNICO DE 112 ASTURIAS.

ANEXO VI – GUIA DE INFORMACION A LA POBLACION

1. INFORMACIÓN A LA POBLACIÓN

Las campañas de comunicación a la población serán desarrolladas en el marco de la implantación del PLANINPA e irán dirigida a toda la población asturiana.

Irá orientada a dar información:

1.1.- Sobre el riesgo de inundaciones:

- Será una información de tipo preventivo y en la línea de conseguir una concienciación de la población.
- Deberá informarse a la población sobre las medidas de autoprotección y protección necesarias en casos de emergencia.
- Se transmitirá un conocimiento del territorio con el objetivo de conseguir una concienciación de la población y convivencia positiva con el riesgo.
- Asimismo se informará a través de los medios por los que se transmitirá la información en caso de que ocurriera la emergencia.
- Se orientará en forma de campañas periódicas dirigidas a diferentes grupos de población. Se aprovecharán los periodos con mayor probabilidad de que se produzca dicho riesgo para informar sobre el mismo.

1.2 Sobre la emergencia cuando ya se haya producido:

Esta información se facilitará cuando ya se haya producido el fenómeno y sea necesario actuar de forma inmediata. Se transmitirá información a la población y a los medios de comunicación social, todo ello a través del Gabinete de Información adscrito a la Dirección del Plan.

La población debe recibir una información clara sobre lo que ha de hacer y hay que evitar en todo momento las informaciones contradictorias que puedan provocar reacciones negativas.

Se dará información sobre:

- Situación real de la emergencia en cada momento.
- Medidas de protección.
- Previsiones sobre la evolución.
- En caso de evacuación, informar sobre cómo se va a efectuar, lugar de reunión y recomendaciones a seguir.
- Al decidirse la emisión de un mensaje de alerta se tendrá en cuenta:
 - A quién va dirigido
 - Sobre qué peligro en concreto
 - De qué forma se difunde
 - Cuando se cancela

Los mensajes de alerta, para ser más efectivos, deberán ser asequibles y concretos, coherentes, apremiantes, fiables y reiterados.

La Dirección del Plan decretará el fin de la emergencia y se le comunicará a la población por los medios utilizados durante la fase de emergencia.

2. MEDIDAS DE AUTOPROTECCION A LA POBLACIÓN

Las instrucciones que se darán a la población y que deberán ser transmitidas en las campañas de información a la población son las siguientes:

2.1.- Medidas ante predicción de lluvias fuertes:

- Revise periódicamente su tejado y bajadas de agua, y elimine toda acumulación de escombros, hojas, tierra, etc. que puedan obstaculizar el paso del agua al alcantarillado o cuneta próxima a su vivienda.
- Tenga preparado un botiquín de primeros auxilios y aquellos medicamentos necesarios fuera del alcance del agua.
- Tenga preparada una linterna y una radio a pilas.
- Coloque documentos importantes, objetos de valor, alimentos y agua potable en lugares altos de la vivienda, y fuera del alcance del agua.
- Coloque los productos tóxicos (herbicidas, insecticidas, etc.) fuera del alcance del agua, a fin de evitar contaminaciones.
- Retire del exterior de su casa, muebles y cualquier objeto que pueda ser arrastrado por las aguas.
- Cerciórese de que su vivienda no se encuentra en un cauce seco por el que pueda pasar una riada.
- Aléjese de las orillas y cauces de ríos y barrancos, de torrentes y de sus puentes. No camine a la orilla del mar y de las rías, y aléjese de sus orillas.

2.2.- En caso de inundación

- **Notifique al 112.** Especifique la zona donde se encuentra, zonas afectadas y nivel de agua, nº de personas afectadas, y posible evolución.

Si está en su vivienda:

- Desconecte todos los aparatos eléctricos.

- No baje a los subterráneos y no permanezca en sitios bajos.
- Prepárese para abandonar su vivienda y acudir al lugar preestablecido si considera que su vivienda está en peligro o si así lo ordenan las autoridades competentes.

Si está en un vehículo

- Circule con preferencia por rutas principales y autopistas y aminore la velocidad. No estacione a la orilla de ríos, cauces de barrancos, torrentes y sus puentes. No cruce con su vehículo vados de cursos de agua, ni lugares inundados.
- Prepárese para abandonar su coche y dirigirse a las zonas más altas si el agua empieza a subir de nivel en la carretera, si su vehículo se atasca, si al cruzar una corriente el agua está por encima del eje o le llega más arriba de la rodilla.
- Si el vehículo está sumergiéndose en el agua y encuentra dificultades para abrir la puerta, salga por las ventanillas.
- Preste atención a los deslizamientos de tierra, socavones, sumideros, cables de conducción eléctrica flojos o derribados y, en general, a todos los objetos caídos.
- Evite viajar de noche, los peligros son más difíciles de detectar.

Si está en el exterior:

- Si está en la calle o en la montaña, localice los puntos más altos y diríjase hacia ellos.
- Aléjese de las bases de colinas para no verse atrapado por el agua que cae por las laderas, que a menudo arrastran barro y piedras.

Sintonice las emisoras de radio locales o la televisión, o vía internet para estar informado de la evolución de la situación y en su caso seguir las recomendaciones de Protección Civil.