

# Sistema predictivo multiescala de la degradación del frente urbano edificado

## Volumen II: Anejos

Tesis Doctoral realizada por:  
Vicente Gibert Armengol

Dirigida por:  
Joan Ramon Casas Rius  
Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Carles Serrat i Piè  
Dr. en Matemáticas

Barcelona, diciembre de 2016



Universitat Politècnica de Catalunya  
Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental  
Programa de Doctorat d'Enginyeria de la Construcció

# TESIS DOCTORAL



# ÍNDICE: Volumen I

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación .....	1
1.1.1. Objetivos y justificación .....	3
1.1.2. Legislación existente.....	6
1.2. Planteamientos de la investigación .....	11
1.2.1. Objetivos y metodología de la tesis.....	13
1.3. Contenido de la memoria .....	16
PARTE I INTRODUCCIÓN AL MARCO TEÓRICO Y AL LABORATORIO URBANO .....	21
Capítulo 2 ESTADO DEL ARTE .....	23
2.1. Consideraciones urbanas.....	24
2.1.1. Características arquitectónicas del frente urbano .....	30
2.1.2. Factores territoriales de vulnerabilidad del frente urbano.....	32
2.1.3. El cañón urbano.....	36
2.2. Características de las fachadas frente la durabilidad .....	37
2.2.1. Estados evolutivos de las lesiones .....	41
2.3. Tipos de inspecciones a gran escala.....	45
2.4. Estudios analíticos de supervivencia.....	51
2.5. Sistemas de gestión de la información .....	58
Capítulo 3 LABORATORIO URBANO.....	65
3.1. Frente urbano .....	67
3.1.1. Tipología de fachadas .....	69
3.1.2. Zonas de clasificación en altura .....	73
3.2. Espacio urbano .....	74
3.2.1. Proporciones viarias.....	75
3.3. Entorno medioambiental urbano .....	76
3.3.1. Radiación solar .....	78
3.3.2. Circulación del viento.....	80
3.3.3. Lluvia conducente .....	83
3.3.4. Contaminación Atmosférica.....	84

3.3.5. Distribución de los distintos paramentos de fachada .....	88
3.3.6. Síntesis parcial .....	89
3.4. Fenómeno de degradación .....	90
3.4.1. Ubicación e inventario de lesiones .....	92
3.4.2. Evaluación del pronóstico de degradación .....	104
PARTE II METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PREDICTIVO .....	107
Capítulo 4 DISEÑO Y ESTRUCTURA DE LA RECOGIDA DE DATOS .....	109
4.1. Propósito de la Muestra .....	110
4.1.1. Estructura de la recogida de datos .....	114
4.2. Análisis de herramientas de inspección .....	117
4.2.1. Valoración de las fichas de inspección .....	121
4.2.2. Fiabilidad de los datos de la ficha LABEDI .....	126
4.3. Documento final para la inspección .....	134
4.3.1. Fichas de inspección adaptadas .....	139
Capítulo 5 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA Y PREDICCIÓN DE LESIONES .....	141
5.1. Introducción al análisis de la supervivencia .....	142
5.2. Concepto de censura .....	146
5.3. Estimación de la función de Supervivencia para datos censurados por la derecha .....	149
5.3.1. Ejemplo ilustrativo I. Estimador de Kaplan y Meier .....	152
5.4. Estimación de la función de Supervivencia para datos censurados en un intervalo. ....	154
5.4.1. El estimador de Turnbull .....	155
5.4.2. Ejemplo ilustrativo II. Cálculo de intervalos de Turnbull .....	157
5.4.3. Implementación e ilustración de la metodología de análisis .....	160
5.4.4. Ejemplo ilustrativo II. Cálculo del estimador de Turnbull .....	161
5.5. Estimación de las curvas de durabilidad para lesiones .....	163
Capítulo 6 GESTIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN EL ENTORNO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA .....	165
6.1. Implementación en ArcGIS .....	168
6.1.1. Tratamiento de la información de las inspecciones .....	168
6.1.2. Tratamiento de la información gráfica .....	173
6.1.3. Introducción y análisis de la información en ArcGIS .....	180
6.2. Implementación en QGIS y desarrollo del plugin FAD .....	185



6.2.1. Migración de la plataforma ArcGIS a QGIS .....	186
6.2.2. El plugin FAD .....	189
PARTE III APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE UN CASO PRÁCTICO .....	191
Capítulo 7 CASO DE ESTUDIO (1/2): DISEÑO MUESTRAL, ANÁLISIS INICIAL Y LESIONES DE INTERÉS .....	193
7.1. Consideraciones generales de la ciudad en estudio .....	194
7.1.1. Distritos y barrios .....	195
7.1.2. Jerarquización de la red viaria .....	197
7.2. Resultados de las primeras inspecciones.....	200
7.2.1. Muestra inicial .....	200
7.2.2. Análisis descriptivo de lesiones .....	203
7.2.3. Resumen de la primera fase de inspecciones.....	205
7.3. La reinspección de fachadas .....	206
7.3.1. Barrios reinspeccionados .....	206
7.3.2. Actuaciones en los distritos I, II y III.....	208
7.4. Resultados de la base de datos final .....	211
7.4.1. Análisis descriptivo por orientación e impacto territorial.....	218
7.4.2. Análisis descriptivo por tipología de revestimiento y morfología .....	220
7.4.3. Determinación de las lesiones de interés .....	221
Capítulo 8 CASO DE ESTUDIO (2/2): APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA Y MODELIZACIÓN DEL TIEMPO HASTA EL FALLO .....	229
8.1. Técnicas de análisis de supervivencia en estudios de durabilidad .....	229
8.2. Modelización no paramétrica del tiempo hasta la lesión .....	233
Capítulo 9 CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .....	247
9.1. Conclusiones .....	247
9.1.1. Conclusiones referentes a la metodología .....	247
9.1.2. Conclusiones referentes a la aplicación .....	250
9.2. Futuras líneas de investigación .....	251
Referencias Bibliográficas.....	253



# ÍNDICE DE TABLAS: Volumen I

<i>Tabla 2.1 Matriz de asociación entre defectos (Neto y de Brito, 2011)</i> .....	45
<i>Tabla 3.1 Tipología de edificio según su altura</i> .....	74
<i>Tabla 3.2 Grado de impacto medioambiental de la calzada</i> .....	75
<i>Tabla 3.3 Proporciones del cañón urbano y grado de impacto</i> .....	76
<i>Tabla 3.4 Orientaciones y grado de impacto</i> .....	79
<i>Tabla 3.5 Proporciones del cañón urbano y grado de impacto solar</i> .....	80
<i>Tabla 3.6 Proporciones del cañón urbano y turbulencias</i> .....	82
<i>Tabla 3.7 Proporciones del cañón urbano e impacto de la lluvia</i> .....	84
<i>Tabla 3.8 Relación entre velocidad del viento y la contaminación diaria máxima de acidez fuerte (Vallejo, 1990)</i> .....	86
<i>Tabla 3.9 Proporciones del cañón urbano y grado de adhesión de la contaminación</i> .....	87
<i>Tabla 3.10 Indicadores de impacto medioambiental en función de las proporciones del cañón urbano</i> .....	90
<i>Tabla 3.11 Lesiones y variantes consideradas en la investigación</i> .....	92
<i>Tabla 3.12 Identificadores de composición de fachadas</i> .....	93
<i>Tabla 3.13a Tipologías de fachadas con revestimiento continuo</i> .....	94
<i>Tabla 3.13b Tipologías de fachadas con revestimiento discontinuo</i> .....	94
<i>Tabla 3.14 Ejemplo de la presencia de desprendimientos</i> .....	96
<i>Tabla 3.15 Ejemplo de la existencia de grietas o fisuras</i> .....	97
<i>Tabla 3.16 Ejemplo de la existencia de abombamientos</i> .....	98
<i>Tabla 3.17 Ejemplo de la presencia de desconchados</i> .....	99
<i>Tabla 3.18 Ejemplo de la presencia de deformaciones</i> .....	100
<i>Tabla 3.19 Ejemplo de la presencia de degradación de material</i> .....	101
<i>Tabla 3.20 Ejemplo de la existencia de corrosión</i> .....	102
<i>Tabla 3.21 Ejemplo de la existencia de humedad</i> .....	103
<i>Tabla 3.22 Niveles de magnitud de las lesiones</i> .....	104
<i>Tabla 3.23 Gravedades máximas según el tipo de lesión</i> .....	105
<i>Tabla 3.24 Gravedades en las lesiones observadas</i> .....	106

Tabla 4.1 Requerimientos metodológicos .....	112
Tabla 4.2 Pesos (en %) de las características generales y específicas (globales y relativos) .....	114
Tabla 4.3 Puntuaciones individuales de las diferentes fichas propuestas .....	122
Tabla 4.4 Puntuaciones para las características generales de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP .....	123
Tabla 4.5 Puntuaciones finales de las fichas de inspección según el Método AHP .....	124
Tabla 4.6 Clasificación final de las fichas de inspección según el método Electre II .....	124
Tabla 4.7 Clasificación final de las fichas de inspección según el método Arrow y Raunod.....	125
Tabla 4.8 Significación (recuento y porcentajes marginales) del efecto inspector agrupado por tipología de lesión.....	132
Tabla 5.1 Estimador de Kaplan y Meier para datos censurados por la derecha.....	153
Tabla 5.2 Estimador de Kaplan y Meier sin considerar datos censurados .....	153
Tabla 5.3 Tabla de datos para el ejemplo ilustrativo del estimador de Turnbull .....	157
Tabla 5.4 Intervalos de Turnbull y probabilidades de fallo obtenidos con la función EMICM con R para los datos del Ejemplo II .....	161
Tabla 5.5 Tiempo hasta un % acumulado de lesiones y % de lesiones en un tiempo .....	162
Tabla 6.1 Clasificación de orientaciones .....	177
Tabla 6.2 Grados de impacto solar por orientación geográfica.....	178
Tabla 6.3 Grado de impacto resultante en función de la orientación de las fachadas y las proporciones del cañón urbano a la que pertenecen .....	179
Tabla 7.1 Clasificación de los barrios de L'Hospitalet de Llobregat por Distritos .....	195
Tabla 7.2 Inventario de la relación de calles existentes (González, 2008) .....	198
Tabla 7.3 Jerarquización de la red viaria (González, 2008).....	199
Tabla 7.4 Muestra de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat y resultado de las actuaciones preventivas estimadas.....	201
Tabla 7.5 Porcentajes de actuación en la década de 1970-1979 y resultado de las actuaciones preventivas estimadas.....	202
Tabla 7.6 Distribución de las fachadas reinspeccionadas en los distritos I, II y III .....	209
Tabla 7.7 Distribución de las fachadas según el número de inspecciones realizadas y el Distrito y Barrio al que pertenecen.....	210
Tabla 7.8 Distribución de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación.....	212

<i>Tabla 7.9 Distribución en recuento y en superficie (y porcentual) de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental.....</i>	<i>213</i>
<i>Tabla 7.10 Distribución de variables de las fachadas según el uso del edificio.....</i>	<i>215</i>
<i>Tabla 7.11 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación .....</i>	<i>218</i>
<i>Tabla 7.12 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental .....</i>	<i>219</i>
<i>Tabla 7.13 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas según su revestimiento y morfología.....</i>	<i>220</i>
<i>Tabla 7.14 Incremento (%) del valor estandarizado de la media según la tipología de lesión obtenida a fecha 31/12/2001 y 17/10/2016 de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat, <math>\mu</math>= media muestral, <math>\sigma</math>=desviación tipo muestral, <math>Z = \frac{\mu}{\sigma/\sqrt{n}}</math>.....</i>	<i>224</i>
<i>Tabla 7.15 Incremento (%) del valor estandarizado de la media y a fecha 31/12/2001 y 17/10/2016 según la parte de la fachada de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat, <math>\mu</math>= media muestral, <math>\sigma</math>=desviación tipo muestral, <math>n</math>= número de fachadas a riesgo, <math>Z = \frac{\mu}{\sigma/\sqrt{n}}</math>.....</i>	<i>226</i>
<i>Tabla 7.16 Funciones de durabilidad por nivel de magnitud según la degradación material o la humedad en los distintos elementos de la barandilla de cubierta de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat.....</i>	<i>228</i>
<i>Tabla 8.1 Variables propuestas para la modelización del tiempo hasta la aparición de humedades puntuales en los revocos de las barandillas de cubierta de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat.....</i>	<i>234</i>
<i>Tabla 8.2 Distribución del número (y porcentaje) de fachadas para las variables medioambientales según el nivel de impacto .....</i>	<i>235</i>



# ÍNDICE DE FIGURAS: Volumen I

<i>Figura 1.1 Localización de deficiencias halladas en las inspecciones entre los años 2010 y 2014 (Observatorio ITE, 2010; 2012; 2014)</i> .....	5
<i>Figura 1.2 Red funcional del Colaboratorio</i> .....	12
<i>Figura 1.3 Esquema estructural de la Tesis Doctoral</i> .....	13
<i>Figura 2.1 La forma urbana fractal de la estructura de la ciudad (Zarza, 1996)</i> .....	24
<i>Figura 2.2 Distribuciones ortogonales (izq.: Barcelona, der.: Madrid)</i> .....	26
<i>Figura 2.3 Distribuciones lineales (izq.: Madrid, der.: Brasilia)</i> .....	26
<i>Figura 2.4 Distribuciones radiocéntricas (izq.: Bilbao, der.: París)</i> .....	27
<i>Figura 2.5 Distribuciones irregulares (izq.: Barcelona, der.: Madrid)</i> .....	27
<i>Figura 2.6 La visualización entre espacio y frente urbano</i> .....	30
<i>Figura 2.7 Vista general de una manzana</i> .....	30
<i>Figura 2.8 Situación de fachada principal, posterior y medianera, respecto a vial</i> .....	31
<i>Figura 2.9 Evolución de la fachada del siglo XV al XXI</i> .....	32
<i>Figura 2.10 Cañón urbano (Carrasco, 2010)</i> .....	36
<i>Figura 2.11 Identificación de las zonas en las que se subdivide el paramento (Santos et al., 2011)</i> ...	39
<i>Figura 2.12 Fragmentación del paramento y elementos singulares (Santos et al., 2011)</i> .....	40
<i>Figura 2.13 Esquema relacional de la vulnerabilidad de los componentes de la fachada frente a la durabilidad (Santos et al., 2011)</i> .....	41
<i>Figura 2.14 Evolución de la degradación de las fachadas siracusanas (Cantone et al., 2004)</i> .....	44
<i>Figura 3.1 Esquema de planos básicos</i> .....	67
<i>Figura 3.2 Distribución de planos en función de las divisiones funcionales</i> .....	67
<i>Figura 3.3 Estratificación de planos arquitectónicos a planos conceptuales</i> .....	68
<i>Figura 3.4 Representación de los planos de fachada</i> .....	69
<i>Figura 3.5 Sistema discontinuo</i> .....	70
<i>Figura 3.6 Sistema continuo</i> .....	70
<i>Figura 3.7 Fachada plana</i> .....	71
<i>Figura 3.8 Fachada con balcón</i> .....	71
<i>Figura 3.9 Fachada con tribuna</i> .....	72

<i>Figura 3.10 Fachada mixta.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.11 Zonas de una fachada mixta.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 3.12 Relación de la calzada entre el ancho y su longitud del tramo viario.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 3.13 Sección esquemática del cañón urbano.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 3.14 Escalas urbanas (Carrasco, 2010).....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 3.15 Rosa de las orientaciones (Higueras, 2006).....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 3.16 Variación de la temperatura.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 3.17 Turbulencias aisladas (Oke, 1988).....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3.18 Turbulencias opuestas (Oke, 1988).....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 3.19 Turbulencias interiores (Oke, 1988).....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 3.20 Variación del impacto del viento.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3.21 Distribución de la lluvia intensa y débil (Beijer, 1980).....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 3.22 Variación de la incidencia de la lluvia.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 3.23 Dispersión de contaminantes en un cañón urbano (Dabberdt et al., 1973).....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 3.24 Campo de velocidades promediado de viento y patrón de distribución de gases emitidos por el tráfico rodado en una calle con a) <math>H/W = 2</math>, b) <math>H/W = 1</math> y c) <math>H/W = 0,5</math> (Jiménez et al., 2005).....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 3.25 Variación de la adhesión de los gases contaminantes.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 3.26 Orientaciones de las fachadas según su situación territorial.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 3.27 Criterios de ordenación de distintos paramentos para una misma fachada.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 3.28 Esquema del ciclo de vida (ISO 15686-5:2008, Internacional).....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 4.1a Características del edificio.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 4.1b Características de la fachada.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 4.2 Línea temporal de los procesos de envejecimiento y de inspección.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 4.3 Ficha LABEDI de información general.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.4 Ficha LABEDI de información específica.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4.5 Ejemplo de fachada con tribuna y revestimiento discontinuo.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4.6 Procesos y medios utilizados en el análisis de fiabilidad de los datos.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4.7 Número de lesiones total (porcentaje) por inspector según magnitud.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 4.8 Número (y porcentaje) total de lesiones según la tipología de fachada para cada inspector.....</i>	<i>130</i>



<i>Figura 4.9 Distribución de las lesiones detectadas según la tipología de lesión para cada inspector .....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 4.10 Ficha de información general optimizada .....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 4.11 Ficha de información específica de la fachada optimizada .....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 4.12 Ficha de recogida de datos relativa al inspector .....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 4.13 Ficha LABEDI de información específica optimizada.....</i>	<i>140</i>
<i>Figura 5.1 Curva de la bañera para la función de riesgo <math>h(t)</math> .....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 5.2 Tipologías de datos censurados a partir de las inspecciones en los momentos <math>t_1</math> y <math>t_2</math>....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 5.3 Evaluación de más de una inspección .....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 5.4 Representación gráfica de los datos obtenidos a partir de las inspecciones.....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 5.5 Estimador de Kaplan y Meier con bandas de confianza al 95% .....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 5.6 Función de supervivencia resultante del estimador de Turnbull .....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 5.7 Identificación de los extremos de los intervalos de los datos del Ejemplo II (Moreno, 2013).....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 5.8 Ordenación con criterios de los extremos de los intervalos de los datos del Ejemplo II (Moreno, 2013) .....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 5.9 Intervalos de Turnbull para los datos del Ejemplo II (Moreno, 2013) .....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 5.10 Función de supervivencia estimada para los datos del Ejemplo II.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 5.11 Funciones de durabilidad en función de tres niveles de magnitud (Gibert y Royano, 2010).....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 6.1 Esquema genérico de la estructura SIG .....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 6.2 Formulario de selección de entrada de primeras inspecciones o posteriores .....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 6.3 Formulario de entrada de datos de primeras inspecciones.....</i>	<i>171</i>
<i>Figura 6.4 Formulario de entrada de datos de las características morfológicas.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 6.5 Formulario de entrada de datos de segundas inspecciones y posteriores .....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 6.6 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial PARCELA.shp proporcionada por Dirección General de Catastro, en ArcGIS.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 6.7 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial CONSTRU.shp proporcionada por Dirección General de Catastro, en ArcGIS.....</i>	<i>174</i>
<i>Figura 6.8 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial CONSTRU_FACHADAS.shp.</i>	<i>175</i>
<i>Figura 6.9 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial CONSTRU_EDIFICIOS.shp ..</i>	<i>176</i>
<i>Figura 6.10 Esquema de orientaciones .....</i>	<i>177</i>

<i>Figura 6.11 Vista del mapa CONSTRU_FACHADAS.shp mostrando la simbología de la orientación de las fachadas.....</i>	<i>177</i>
<i>Figura 6.12 Vista del mapa CONSTRU_FACHADAS.shp mostrando el grado de impacto solar según la orientación de las fachadas .....</i>	<i>178</i>
<i>Figura 6.13 Vista del mapa CONSTRU_FACHADAS.shp mostrando el grado de impacto solar según la orientación de las fachadas y las proporciones del cañón urbano ( R_SOLAR ).....</i>	<i>180</i>
<i>Figura 6.14 Esquema organizativo de la estructura creada en ArcGIS .....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 6.15 Barra de herramientas 00_CARGA DATOS .....</i>	<i>181</i>
<i>Figura 6.16 Unión entre tablas de datos únicos para cada edificio en ArcGIS.....</i>	<i>182</i>
<i>Figura 6.17 Relación entre tablas de datos únicos para cada fachada en ArcGIS.....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 6.18 Estructura de capas y tablas de la GDB, FACHADAS.gdb, en ArcGIS.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 6.19 Vista de mapa de los edificios clasificados por colores según el uso.....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 6.20 Vista de mapa de los edificios clasificados por colores según su año de construcción en periodos de 20 años .....</i>	<i>184</i>
<i>Figura 6.21 Vista de mapa de los edificios clasificados por su uso, con la ortofotografía de fondo ..</i>	<i>185</i>
<i>Figura 6.22 Estructura de la DB en QGIS derivada de la GDB de ArcGIS .....</i>	<i>187</i>
<i>Figura 6.23 Diagrama de la Estructura de la DB en QGIS .....</i>	<i>188</i>
<i>Figura 6.24 Interfaz de QGIS.....</i>	<i>189</i>
<i>Figura 6.25 Estructura del plugin FAD 0.1.....</i>	<i>190</i>
<i>Figura 7.1 Distribución territorial de los distritos y barrios de L'Hospitalet de Llobregat .....</i>	<i>195</i>
<i>Figura 7.2 Evolución de L'Hospitalet de Llobregat entre 1700 y 1999 .....</i>	<i>197</i>
<i>Figura 7.3 Tipos de usos (Bosch, 2012).....</i>	<i>199</i>
<i>Figura 7.4 Gráfico resumen de L'Hospitalet de Llobregat, por décadas constructivas y actuaciones previstas.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 7.5 Porcentaje de lesiones en los diferentes elementos constructivos de las fachadas ..</i>	<i>204</i>
<i>Figura 7.6 Porcentaje del recuento de las distintas lesiones .....</i>	<i>204</i>
<i>Figura 7.7 Porcentajes acumulados de lesiones en los distintos elementos.....</i>	<i>205</i>
<i>Figura 7.8 Distribución de las zonas inspeccionadas en L'Hospitalet de Llobregat en el periodo 2013-2015.....</i>	<i>207</i>
<i>Figura 7.9 Mapa de situación de las 1.978 fachadas inspeccionadas de la muestra de estudio.....</i>	<i>211</i>
<i>Figura 7.10 Distribución de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación.....</i>	<i>212</i>

<i>Figura 7.11 Distribución porcentual, en recuento (izquierda) y en superficie (derecha), de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental .....</i>	<i>214</i>
<i>Figura 7.12 Situación de las fachadas clasificadas según su año de construcción atendiendo a tres periodos constructivos.....</i>	<i>217</i>
<i>Figura 7.13 Situación de las 814 fachadas que conforman la submuestra de estudio.....</i>	<i>217</i>
<i>Figura 7.14 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación .....</i>	<i>218</i>
<i>Figura 7.15 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental .....</i>	<i>219</i>
<i>Figura 7.16 Distribución de los índices de gravedad ponderada según la tipología de lesión de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet a fecha 31/12/2001 (superior) y 17/10/2016 (inferior) .....</i>	<i>222</i>
<i>Figura 7.17 Distribución de los índices de gravedad ponderada según la parte de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat a fecha 31/12/2001 (superior) y 17/10/2016 (inferior) .....</i>	<i>225</i>
<i>Figura 8.1 Funciones de supervivencia y tabla de resultados para la lesión humedades en revocos en las barandillas de cubierta de viviendas por magnitud .....</i>	<i>230</i>
<i>Figura 8.2 Edad estimada de las fachadas para una supervivencia del 75%.....</i>	<i>231</i>
<i>Figura 8.3 Estimación de la proporción de fachadas que no han sufrido la lesión a los 50 años.....</i>	<i>231</i>
<i>Figura 8.4 Funciones de riesgo acumulado y tabla de resultados para la lesión humedades en revocos en las barandillas de cubierta de viviendas según la magnitud..</i>	<i>232</i>
<i>Figura 8.5 Algoritmo genérico para estimar un modelo no paramétrico de la evolución de la lesión de interés.....</i>	<i>236</i>
<i>Figura 8.6 Función de supervivencia de las humedades puntuales en los revocos de la barandilla de cubierta de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat estratificada según el período constructivo .....</i>	<i>238</i>
<i>Figura 8.7 Resultados de la prueba de hipótesis de igualdad para las variables de interés ( paso 1 ).....</i>	<i>238</i>
<i>Figura 8.8 Ramificación de la variable más significativa del test de igualdad ( paso 2 ) .....</i>	<i>239</i>
<i>Figura 8.9 Ramificaciones activas para establecer el modelo no paramétrico de la aparición de la lesión de interés .....</i>	<i>240</i>
<i>Figura 8.10 Función de supervivencia de las humedades puntuales en el revoco de las barandillas de cubierta de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat construidos antes del 1960 por morfología .....</i>	<i>241</i>
<i>Figura 8.11 Distribución de la frecuencia por categorías de la variable morfología para las fachadas construidas antes del 1960 y p-valores de la recodificación de la variable .....</i>	<i>241</i>

<i>Figura 8.12 Ramificaciones activas para el modelo de aparición de la lesión de interés para las fachadas construidas antes del 1960 en función de la morfología .....</i>	<i>242</i>
<i>Figura 8.13 Ramificación final para el modelo de la lesión de interés de las fachadas no planas construidas antes del 1960.....</i>	<i>243</i>
<i>Figura 8.14 Árbol de clasificación del tiempo hasta la aparición de humedades puntuales en los revocos de la barandilla de cubierta de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat.....</i>	<i>244</i>
<i>Figura 8.15 Función de supervivencia estratificada por grupos de población de fachadas .....</i>	<i>244</i>

# ÍNDICE: Volumen II

Anejo A TRABAJOS ACADÉMICOS .....	1
A.1 Estudios de campo .....	3
A.2 Estudios de reinspecciones .....	9
A.3 Estudios de supervivencia (durabilidad) .....	9
Anejo B PREOCUPACIÓN SOCIAL SOBRE EL DETERIORO DE FACHADAS .....	11
Anejo C ANÁLISIS PRELIMINARES URBANOS .....	17
C.1 Radiación solar .....	19
C.2 Circulación del viento .....	30
C.3 Lluvia conducida.....	41
C.4 Contaminación atmosférica.....	48
C.5 Reflexión .....	56
Anejo D ANÁLISIS DE LOS DOCUMENTOS DE INSPECCIÓN .....	57
D.1 Ficha de evaluación individual de los requerimientos y resultados .....	59
D.2 Evaluación individual de los requerimientos .....	64
D.2.1 Diversidad de las valoraciones. ....	65
D.3 Fichas de campo existentes: ITeC y ITE. ....	67
D.4 Valoraciones de las fichas de inspección de fachadas existentes. ....	82
D.5 Métodos de análisis: El Proceso Analítico Jerárquico, ELECTRA y ARROW y RAYNAUD .....	87
D.6 Fachadas seleccionadas para la prueba de fiabilidad de los datos.....	100
Anejo E CATÁLOGO DE MATERIALES .....	101
Anejo F FUNCIONALIDAD Y MANUAL DE USUARIO DEL PLUGIN FAD 0.1 .....	109
F.1 Introducción .....	111
F.2 El módulo de Pre-procesado .....	113
F.3 El módulo de Selección de la muestra .....	113
F.4 El módulo de Análisis.....	119
Anejo G COMUNICACIONES EN CONGRESOS .....	125
G.1 XII DBMC .....	128
G.2 XIII DBMC .....	136
G.3 XIV DBMC.....	144



# ÍNDICE DE TABLAS: Volumen II

<i>Tabla A.1 Ubicación y cantidad de fachadas inspeccionadas</i> .....	3
<i>Tabla C.1 Grado de regularidad solar</i> .....	23
<i>Tabla C.2 Temperaturas anuales por comarcas</i> .....	28
<i>Tabla C.3 Temperaturas máximas, medias y mínimas de las comarcas analizadas</i> .....	29
<i>Tabla C.4 Grado de intensidad solar</i> .....	29
<i>Tabla C.5 Horas e intensidad solar</i> .....	29
<i>Tabla C.6 Grado de regularidad del viento</i> .....	32
<i>Tabla C.7 Grado de duración del viento</i> .....	32
<i>Tabla C.8 Variación de las velocidades del viento por comarcas</i> .....	35
<i>Tabla C.9 Velocidades medias del viento de las comarcas analizadas</i> .....	37
<i>Tabla C.10 Grado de intensidad del viento</i> .....	37
<i>Tabla C.11 Efectos del viento y nivel de impacto</i> .....	40
<i>Tabla C.12 Variación de las precipitaciones</i> .....	43
<i>Tabla C.13 Clasificación de la precipitación según la intensidad</i> .....	43
<i>Tabla C.14 Grado de intensidad de la lluvia</i> .....	43
<i>Tabla C.15 Clasificación de la precipitación según la regularidad (Monjo i Agut, 2008)</i> .....	44
<i>Tabla C.16 Grado de regularidad de la lluvia</i> .....	44
<i>Tabla C.17 Grado de duración de la lluvia</i> .....	45
<i>Tabla C.18 Duración de la absorción (Vallejo, 1993)</i> .....	48
<i>Tabla C.19 Evolución anual de las emisiones atmosféricas en Barcelona</i> .....	50
<i>Tabla C.20 Evolución de emisiones (miles de toneladas CO2 equivalente) por sectores en Cataluña. (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2013)</i> .....	52
<i>Tabla C.21 Parque de vehículos en Barcelona (Autoritat del Transport Metropolità, 2008)</i> .....	53
<i>Tabla C.22 Comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por modificaciones de la velocidad (Autoritat del Transport Metropolità, 2008)</i> .....	54
<i>Tabla C.23 Velocidad de circulación y grado de contaminación</i> .....	55
<i>Tabla C.24 Congestión y grado de contaminación</i> .....	56
<i>Tabla D.1 Valoración de los campos y criterios de los expertos y promedios globales y relativos respectivos</i> .....	64

<i>Tabla D.2 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha ITeC (I=Individuo) ...</i>	<i>84</i>
<i>Tabla D.3 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha ITE (I=Individuo) .....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla D.4 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha LABEDI (I=Individuo) .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla D.5 Matriz de comparación pareada de los criterios del Método AHP para un ejemplo teórico .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla D.6 Matriz de comparación pareada de las alternativas del Método AHP para un ejemplo teórico.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla D.7 Puntuaciones para las características específicas de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla D.8 Puntuaciones para las características específicas de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla D.9 Matriz de alternativas, criterios y pesos respectivos del Método Electre II .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla D.10 Matriz de sobreclasificación del Método Electre II.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla D.11 Matriz de concordancia del Método Electre II .....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla D.12 Matriz de discordancia del Método Electre II.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla D.13 Zona de sobre clasificación fuerte y sobre clasificación débil del método Electre II .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla D.14 Clasificación directa del Método Electre II .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla D.15 Clasificación inversa del Método Electre II .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla D.16 Clasificación media del Método Electre II .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla D.17 Matriz de clasificación del método Arrow y Raynaud.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla D.18 Matriz de clasificación del método Arrow y Raynaud modificada .....</i>	<i>98</i>



# ÍNDICE DE FIGURAS: Volumen II

<i>Figura C.1</i> Coordenadas terrestres (Maldonado, 2011) .....	19
<i>Figura C.2</i> Representación del movimiento del sol (Gonzalo y Nota, 2004).....	20
<i>Figura C.3</i> Ubicación del sol (Gonzalo y Nota, 2004).....	21
<i>Figura C.4</i> Equinoccios y solsticios (Maldonado, 2011).....	22
<i>Figura C.5</i> Proyección estereográfica.....	24
<i>Figura C.6</i> Partes carta solar (Yáñez, 1988).....	24
<i>Figura C.7</i> Tipología de radiaciones solares.....	25
<i>Figura C.8</i> Coeficiente de absorción para diferentes materiales y colores.....	26
<i>Figura C.9</i> Variación de la velocidad del viento con la altura (García, 1983).....	34
<i>Figura C.10</i> Evolución de la velocidad del viento con la altura (Talayero y Telmo, 2008).....	34
<i>Figura C.11</i> Diferencia de presión atmosférica (García, 1983).....	37
<i>Figura C.12</i> Parámetros del viento (García, 1983).....	38
<i>Figura C.13</i> Efecto de abertura (Granados, 2006).....	39
<i>Figura C.14</i> Efecto de esquina (García, 1983).....	39
<i>Figura C.15</i> Efecto de rebufo (Granados, 2006).....	39
<i>Figura C.16</i> Efecto de rodillo (Granados, 2006).....	40
<i>Figura C.17</i> Efecto Venturi (García, 1983).....	40
<i>Figura C.18</i> Curvas IDF (Muñoz y Ritter, 2005).....	44
<i>Figura C.19</i> Actuación del par viento / lluvia sobre los edificios (Vallejo, 1990).....	45
<i>Figura C.20</i> Desplazamiento del agua escurrida según la inclinación de los planos (Vallejo, 1990)....	47
<i>Figura C.21</i> Distribución de las emisiones de CO <sub>2</sub> por sectores en el año 2003 en Cataluña (Autoritat del Transport Metropolità, 2008).....	52
<i>Figura C.22</i> Comportamiento de las emisiones de CO <sub>2</sub> (t/año) con variación de la velocidad media (Autoritat del Transport Metropolità, 2008).....	55
<i>Figura D.1</i> Pesos de las características generales según cada individuo.....	65
<i>Figura D.2</i> Pesos relacionados con la identificación según cada individuo.....	65
<i>Figura D.3</i> Pesos relacionados con la clasificación según cada individuo.....	65
<i>Figura D.4</i> Pesos relacionados con la metodología según cada individuo.....	66

<i>Figura D.5 Pesos relacionados con los recursos según cada individuo .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura D.6 Pesos relacionados con la calidad de los datos según cada individuo.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura D.7 Pesos relacionados con el análisis de los datos según cada individuo pata.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura D.8 Esquema del Método de Jerarquías .....</i>	<i>87</i>
<i>Figura E.2 Estructura de las tablas de catálogos a partir de la ficha de campo LABEDI .....</i>	<i>103</i>
<i>Figura F.2 Ventana para cargar el Shapefile del municipio en estudio .....</i>	<i>111</i>
<i>Figura F.3 Interfaz de QGIS.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura F.4 Interfaz de FAD 0.1 con acciones comunes entre los distintos módulos .....</i>	<i>112</i>
<i>Figura F.5 Interfaz del módulo Preprocessing de FAD 0.1.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura F.6 Interfaz del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>114</i>
<i>Figura F.7 Interfaz de Database del módulo Sample selection de FAD 0.1.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura F.8 Interfaz de Territorial del módulo Sample selection de FAD 0.1.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura F.9 Interfaz de Timeline del módulo Sample selection de FAD 0.1.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura F.10 Interfaz de Parcel del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>116</i>
<i>Figura F.11 Interfaz de Building del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>117</i>
<i>Figura F.12 Interfaz de Facade del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>118</i>
<i>Figura F.13 Interfaz de Elements del módulo de Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>118</i>
<i>Figura F.14 Interfaz de Failure del módulo de Sample selection de FAD 0.1.....</i>	<i>119</i>
<i>Figura F.15 Interfaz del submódulo Date of analysis del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>120</i>
<i>Figura F.16 Interfaz del submódulo Descriptive del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>121</i>
<i>Figura F.17 Interfaz del submódulo Survival del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>122</i>
<i>Figura F.18 Interfaz del submódulo Test del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>122</i>

# Anejo A

## TRABAJOS ACADÉMICOS



## A.1 Estudios de campo

Los trabajos académicos que se exponen a continuación son un reflejo de la actividad realizada en el estudio e inspección de la degradación de las fachadas en distintos entornos urbanos. La acumulación de experiencias diversas pretendía validar el método de inspección y elaborar una ficha de primera inspección lo más generalista y eficaz posible.

Los resultados han demostrado que el método empleado es válido y responde adecuadamente a la necesidad de determinar el tipo, gravedad y magnitud del estado de conservación de las fachadas y de los parques analizados. Otra de las ventajas de la ficha resultó ser la baja incidencia en los resultados del tipo de inspector. Éstos tras una breve formación eran capaces de realizar de forma homogénea gran cantidad de inspecciones sin dispersiones significativas en los resultados en relación con otros grupos.

En la Tabla A.1 se muestran los países y ciudades donde se han realizado las inspecciones, así como el número de fachadas sometidas a control desde el punto de vista de la evaluación al riesgo de siniestro. Al mismo tiempo se indica cómo se han ordenado los proyectos finales de carrera acto seguido de la tabla, y que han colaborado en la realización de las inspecciones.

CIUDADES INSPECCIONADAS	Nº inspecciones
<b>ESPAÑA – CATALUÑA</b>	<b>18.793</b>
BARCELONA (ciudad)	5.600
Barceloneta	233
Ciutat Vella	2.631
Eixample	2.736
L'HOSPITALET DE LLOBREGAT	13.193
<b>ESPAÑA – ISLAS BALEARES</b>	<b>291</b>
MALLORCA - ESPORLES	291
<b>FRANCIA</b>	<b>102</b>
TOULOUSE	102
<b>CHILE</b>	<b>1.836</b>
SANTIAGO DE CHILE	1.403
TALCA	37
VALPARAÍSO	396
<b>MÉXICO</b>	<b>525</b>
MÉXICO D.F.	525
<b>TOTAL DE INSPECCIONES</b>	<b>21.547</b>

Tabla A.1 Ubicación y cantidad de fachadas inspeccionadas

---

## ESPAÑA - CATALUNYA

### - BARCELONA

#### • Barceloneta

Sánchez Raya, O., Peguera Segarra, A., Gaspar Fàbregas, K. y Gibert Armengol, V. (2004). *Catàleg de façanes amb factor de risc. La problemàtica del mobbing immobiliari. Barceloneta.*

Alcalde Roldán, C. y Solé Bruach, C. (2005). *Estudi de riscos de caiguda d'elements de façana a la Barceloneta.* TFC /UPC/EPSEB. Directores: Gaspar i Fàbregas, K. y Gibert Armengol, V.

#### • Ciutat Vella

Alonso Guerrero, M. y Hernández Burgos, D., Lamiel Carrera, J., Mateu i Mateu, M. (1997). *Els edificis de Ciutat Vella: el Casc Antic.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Miranda García, B. y Callizo i Manuel, C. (1999). *Factors de risc en les façanes del Casc Antic de Barcelona.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Martínez Torrentó, E. y Benito Po, D. (1999). *Factors de risc en les façanes del Casc Antic de Barcelona.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Digón, V. y Ferrero, G. (1999). *Factors de risc en les façanes del Casc Antic de Barcelona.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Pineda Pérez, F. y Gispert i Alier, I. (1999). *Factors de risc en les façanes del Casc Antic de Barcelona. Grup 1.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Canals Galofré, A. y Lobaco Poyatos, S. (1999). *Factors de risc en les façanes del Casc Antic de Barcelona. Grup 5.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Estades i Amengual, J. y Ribera i Grau, I. (2000). *Catàleg de façanes de Ciutat Vella amb factor de risc.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Martínez Aymamí, I. (2000). *Ciutat Vella: Anàlisi i Evolució del Barri Casc Antic.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Polo Ortega, J. y López Saavedra, B. (2001). *Fachadas de Ciutat Vella con factor de riesgo.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Vilamitjana Martín, G. y Ramoneda Sentenach, M. (2002). *Catàleg de façanes amb factor de risc de Ciutat Vella.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Cassà Rubio, A. y Simón Rivera, J. (2003). *Catàleg de façanes amb factor de risc: Ciutat Vella.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Carrera Ríos, J. M. y Roca Presas, A. (2005). *Catàleg de façanes de risc del barri del Raval de Ciutat Vella de Barcelona i estudi del tractament legals de les restes arqueològiques.* TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Gaspar i Fàbregas, K.

Catalán Moya, J. y Martí Mercader, M. (2005). *Confecció de catàleg de façanes de Ciutat Vella i estudi de la uniformitat de la rotulació de les plantes baixes*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gaspar i Fàbregas, K. y Gibert Armengol, V.

Rey Hurtado, R. d. y Escolano Fernández, S. (2005). *Confeció de un catálogo de fachadas de Ciutat Vella con factor de riesgo y estudio de la accesibilidad del barrio del Raval (Barcelona)*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Gaspar i Fàbregas, K.

- **Eixample**

Sánchez Raya, O. y Peguera Segarra, A. (2004). *Catàleg de façanes amb factor de risc. La problemàtica del mobbing immobiliari. Barceloneta*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gaspar Fàbregas, K. y Gibert Armengol, V.

Dieste Lluell, F. y Pastor Monclús, R. (1999). *Catàleg de façanes de l'Eixample amb factor de risc*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Cañal Carrera, A. (1999). *Les Façanes del modernisme a la ciutat de Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

Castarlenas Sarrato, G. y López Vicent, R. (2000). *Catàleg de façanes de patis interiors d'illa amb factor de risc. L'Eixample. Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Cuadrado Asencio, T. y Monje Alcaide, L. (2000). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Eixample*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Figueras Porta, M. M. y Peiro Milian, G. (2000). *Catàleg de façanes de l'Eixample amb factor de risc*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Verdura Bosch, N. y Acinas Poncelas, R. (2000). *Seguiment de façanes recentment rehabilitades. Eixample - Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

Moyà Vilalta, M. y Jané Barniol, M. (2001). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Eixample*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Chaves Torres, M. y Deumal Clapés, M. (2001). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Eixample*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Tenoira Martínez, R. y Mendez Prieto, N. (2002). *Catàleg de façanes de l'Eixample de Barcelona amb factor de risc*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Morgade González, A. y Navarro Acosta, A. (2002). *Catàleg de façanes de patis interiors d'illa amb factor de risc. L'Eixample. Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Corredor Ibáñez, L. y Pascual Cantero, M. (2002). *L'Eixample: Catàleg de façanes amb factor de risc*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Torra Pla, J. (2002). *Procés i Viabilitat de la recuperació de les façanes dels patis interiors d'illa de l'Eixample*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

Barrios Silva, J. y Vegas Vázquez, A. (2003). *Catàleg de façanes de l'Eixample amb factor de risc*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

García de la Plaza, F. y Martínez Fernández, Ó. (2003). *Catàleg de façanes de patis interiors d'illa amb factor de risc. L'Eixample. Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Jordana Riba, F.

Casajús Valenzuela, B. y Pagès Capella, X. (2004). *Anàlisi de la funció de risc en les façanes de l'eixample de Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V., Jordana Riba, F. y Serrat i Piè, C.

#### - HOSPITALET DE LLOBREGAT

Amigo Álvarez, M., Lozano Conesa, L., Martín López, Y. y Rodrigo de Pablo, R. (1998). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Collblanc*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Calicó Soler, D., Feliu Anguera, G., Moñiz López, A. y Roca Aixalà, M. (1998). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Florida*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Bassó Enríquez, A., Fontanet Codina, M., Rovira Fuster, R. y Valero Haro, M. (1998). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Pubilla Cases*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Molina Jurado, D., Villanueva Bonilla, M. D., Fernández Sabaté, F. y Serra Casals, V. (1998). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Torrassa*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Balaguer i Casellas, C., Rivera Chavarrías, A., Poll Hernández, G. y Reviriego Gómez, L. (1999). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Santa Eulàlia*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Roe Vidal, M., Giménez Prades, R., Álvarez Tubau, J., Gelrà López, J. (2000). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Centre*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Ramírez Casas, J. y Gibert Armengol, V.

Audet Bonet, J., Molina Anadon, X., Algarte Dolset, J., Almate López, J., Miquel Vicenç, P., Chaves Cayuela, C., et al. (2001). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Bellvitge i el Gornal*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Ramírez Casas, J. y Gibert Armengol, V.

Riba Garcia, R., Romera Fernández, J., Alvaro Martínez, G. y Fernández Vázquez, E. (2001). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Sant Josep*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

Descarrega Castellví, J. M., Capdevila Rodríguez, X., Fort Mayordomo, I., Laguna Español, J. y (2001). *Catàleg de façanes amb factor de risc de l'Hospitalet de Llobregat. Zona Carretera del Mig*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Ramírez Casas, J.

Oliver Jaume, A. y Foguet Bassas, M. (2001). *Catàleg de façanes amb factor de risc del barri Can Serra. L'Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Ramírez Casas, J.

Plans Pascual, G. (2001). *L'Hospitalet de Llobregat, una ciutat en estudi*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.



Durán Gelabert, B. y Reyes Aiguadé, C. (2001). *Les Planes. Catàleg de façanes amb factor de risc. L'Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Ramírez Casas, J.

Perpinyà Menal, D., Izquierdo Mostajo, Ó. J., Erenas Rivero, F. y Gallardo Valdivia, E. (2002). *Catàleg de façanes amb factor de risc a Sant Feliu. L'Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Ramírez Casas, J. y Gibert Armengol, V.

Estany Boix, J. y López Pombo, M. (2002). *Catàleg de façanes amb factor de risc. Gran Vía Sud - Pedrosa. L'Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Ramírez Casas, J.

Planavila Serra, O. (2003). *L'Hospitalet de Llobregat, una ciutat en estudi*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

Rabal Valero, X. y Nieto Parra, F. (2006). *Sostenibilitat al barri de Santa Eulàlia (zona oest) de L'Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Gaspar i Fàbregas, K.

Fontecha Carrillo, S. (2013). *Criteri per la ri-ispezione dello stato delle lesioni nelle facciate urbane*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V y Serrat i Piè, C.

Galarza Navarro, A. (2014). *Observació de l'evolució de la degradació de les façanes del barri de Santa Eulàlia de L'Hospitalet de Llobregat i pressa de dades per a l'anàlisi de la fiabilitat de les inspeccions realitzades per diferents subjectes inspectors*

González Mellado, S. y Croce Guillén, V. (2014). *Observació de l'evolució de la degradació de les façanes al barri Centre de L'Hospitalet de Llobregat*. TFG/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V. y Royano García, V.

Romero Torres, S. (2014). *Evolucion de la degradación de las fachadas en el barrio de Collblanc, sector oeste, y justificación de lesiones, características físicas*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

Gálvez Luis, B. (2016). *Estudio de la degradación de las fachadas del barrio de santa eulalia a lo largo del tiempo*. TFG/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

## ESPAÑA – ILLES BALEARS

### - MALLORCA - ESPORLES

Nadal i Vila, M. (2002). *Catàleg de façanes amb factor de risc d'Esporles (Mallorca)*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Jordana Riba, F., Gibert Armengol, V. y Gibert i Salamanca, J.

## FRANCIA

### - TOULOUSE

Ferrer Pedrazas, L. (2005). *Catálogo de fachadas con factor de riesgo en Toulouse*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

---

**CHILE****- SANTIAGO DE CHILE**

Ripollés Saurí, P., Mayol Martínez, J. y Gómez González, S. (2004). *Catálogo de fachadas con factor de riesgo I. Santiago centro*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - FINIS TERRAE). Directores: Gibert Armengol, V. y Gleiser, K.

Porta Escolano, N. y Sala Riera, J. (2004). *Catálogo de fachadas con factor de riesgo II. Santiago centro*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - FINIS TERRAE). Directores: Gibert Armengol, V. y Gleiser, K.

Artigot Zubiría, M., Barrabés Ballarín, M., Canals Rocoder, A., Ciller Rivera, H. y Galiana Vidal, M. (2005). *Catálogo de fachadas con factor de riesgo III. Santiago centro*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - FINIS TERRAE). Directores: Gibert Armengol, V. y Gleiser, K.

Almera Gil, G., Íñigues Sirera, N., Janoher i Orpi, E., Nieto Domínguez, A. y Sabat Molina, G. (2006). *Catálogo de fachadas con factor de riesgo IV. Santiago centro*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - FINIS TERRAE). Directores: Gibert Armengol, V. y Gleiser, K.

**- TALCA**

Francesch Campi, N. y Romero Rico, P. (2003). *Estudio del estado de conservación y mantenimiento de la vía pública de Gualleco. Chile*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - UTAL). Director: Gibert Armengol, V.

Alberdi Sarrionandia, B. y Barrachina Caricchio, L. (2007). *Estudio patológico de la hacienda Santa María de Quechereguas en el municipio de Molina. VII Región del Maule - Chile*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - UTAL). Directores: Gleiser, K. y Gibert Armengol, V.

Fernández Font, A. y Gutiérrez Coma, C. (2007). *Estudio patológico del Club Talca y del Obispado de Talca. VII Región del Maule - Chile*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - UTAL). Directores: Gleiser, K. y Gibert Armengol, V.

Panadès Tost, J. y Zapatero Cairol, D. (2007). *Estudio patológico del Mercado Central de Talca. VII Región del Maule - Chile*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - UTAL). Directores: Gleiser, K. y Gibert Armengol, V.

**- VALPARAÍSO**

Robles Asín, N., Salas Pastos, C. y Cortés Pacheco, P. (2002). *Catálogo de fachadas con factor de riesgo de la zona de postulación de Valparaíso como Patrimonio de la Humanidad ante la Unesco. Valparaíso - Chile*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - PUCV). Directores: Gibert Armengol, V. y Jordana Riba, F.

Daniel Martínez, O. (2002). *Catálogo de fachadas con factor de riesgo. Valparaíso - Chile*. TFC/UPC/EPSEB (Convenio UPC - PUCV). Directores: Gibert Armengol, V. y Jordana Riba, F.

## MÉXICO

### - MÉXICO D. F.

Mateos Garrigosa, B. (2002). *Estudio de catalogación del estado de riesgo de las fachadas del centro histórico de la Ciudad de México*. TFC/UPC/EPSEB (Acuerdo UNAM – UPC). Director: Gibert Armengol, V.

Obiols Magallón, M. y Campos Rubio, G. (2003). *Estudio de catalogación del estado de riesgo de las fachadas del Centro Histórico de la Ciudad de México. Zona: 5 de Mayo*. TFC/UPC/EPSEB (Acuerdo UNAM – UPC). Director: Gibert Armengol, V.

García Jordán, E. y García Buiza, J. (2005). *Estudio de catalogación del estado de riesgo de las fachadas del centro histórico de Méjico y la seguridad en trabajos de cerramientos*. TFC/UPC/EPSEB (Acuerdo UNAM – UPC). Director: Gibert Armengol, V.

Aguarod Palomés, M. y Kassarijan Soldevila, A. (2007). *Estudio patológico de las fachadas de la calle Tacuba, orientación Sur. Centro histórico de la ciudad de México*. TFC/UPC/EPSEB (Acuerdo UNAM – UPC). Director: Gibert Armengol, V.

### A.2 Estudios de reinspecciones

Para adquiriendo experiencia sobre las inspecciones a multiescala se han realizado trabajos, como los que se citan a continuación, encaminados hacia esta dirección.

Heras Díez, R. y Paredes Romero, R. (2002). - *IPI - Identificación del Patrimonio Inmobiliario (Programa)*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

Llimona, S. (2004). *Element extern en façana urbana*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Gibert Armengol, V.

Abril García. (2005). *Reinspecció de façanes per modelitzar les progressions de les lesions*. TFC/UPC/EPSEB. Director: Jordana Riba, F. y Gibert Armengol, V.

### A.3 Estudios de supervivencia (durabilidad)

A partir de los estudios de inspección realizados surge el proyecto de realizar estudios analíticos de supervivencia en colaboración con el Instituto de Estadística y Matemática Aplicada a la Edificación, para conseguir en base a los datos obtenidos en el campo, análisis mediante aplicación del modelo univariado y multivariado para relacionar los diferentes elementos existentes con sus lesiones y, poder así, asignar un determinado nivel de gravedad y magnitud a cada uno de ellos, determinando la evolución de las lesiones a lo largo del tiempo.

A continuación se citan los principales trabajos desarrollados dentro de esta área:

Martín Escribano, S. (2004). *Análisis de "tiempo hasta la lesión" en fachada existente y su gravedad. Caracterización y predicción, en el caso de los patios interiores de l'Eixample de Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Serrat i Piè, C. y Gibert Armengol, V.

Tobar Pérez, E. (2004). *Análisis de durabilidad por magnitud de las fachadas en L'Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V., Jordana Riba, F. y Serrat i Piè, C.

Llop Garcia, L. (2004). *Catalogació i anàlisi de la durabilitat de les lesions en façanes de L'Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Gibert Armengol, V., Jordana Riba, F. y Serrat i Piè, C.

Álamo Plazas, C. (2004). *Implementació d'una plataforma d'introducció de dades (PID) per a lesions en façanes i la seva evolució en el temps: el cas de l'exemple de Barcelona*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Barrera Torres, E., Gibert Armengol, V., Jordana Riba, F. y Serrat i Piè, C.

Liébana Olmo, J. P. y Molons Galobardes, X. (2005). *Desarrollo de una plataforma de análisis de durabilidad de lesiones en fachada*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Serrat i Piè, C. y Gibert Armengol, V.

Barriuso Sprangers, N. y Estupinya Gaudioso, M. (2006). *Catalogación y análisis de la durabilidad y riesgo de las lesiones en fachadas de Hospitalet de Llobregat*. TFC/UPC/EPSEB. Directores: Serrat i Piè, C. y Gibert Armengol, V.

Gibert Armengol, V. y Royano García, V. (2010). *Determinación de estimadores de durabilidad adaptados a la edificación existente*. TFM/UPC/EPSEB. Director: Serrat i Piè, C.

Díaz Linares, M. (2011). *Estudi de simulació en R per al disseny eficient dels temps d'inspecció en estudis de fiabilitat en façanes*. TFM/UPC/EPSEB. Director: Serrat i Piè, C.

Siscart de la Cruz, B.L. (2012). *Anàlisi de fitxes d'inspecció de façanes mitjançant mètodes multicriteris*. TFG /UPC/EPSEB. Directores: Serrat i Piè, C. y Gibert Armengol, V.

Moreno Basquens, L. (2013). *Estimació simultània de corbes de durabilitat amb restriccions d'ordre i la seva implementació en AMPL*. TFG/UPC/EPSEB. Director: Serrat i Piè, C.

Sivera Calatayud, A. (2015). *Platform for facades durability analysis and its implementation in Olsztyn, Poland*. TFG/UPC/EPSEB (Acuerdo UWM – UPC). Directores: Serrat i Piè, C., Gibert Armengol, V. y Kowalczyk, C.

## Anejo B

# PREOCUPACIÓN SOCIAL SOBRE EL DETERIORO DE FACHADAS



22 COSAS DE LA VIDA

Sábado, 11 de abril de 1998 el Periódico

## GRAN BARCELONA

## L'Hospitalet revisa todas sus fachadas

La Politécnica aplica un estudio pionero para detectar edificios en mal estado

Los técnicos han inspeccionado desde noviembre 4.000 de las 11.500 fincas

Las reparaciones de inmuebles se han disparado desde el inicio del programa

AVIER ADELL  
L'Hospitalet

L'Hospitalet se ha convertido en la primera ciudad que ha puesto en marcha un plan global de revisión de fachadas, gracias a un convenio firmado con la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). El programa de inspecciones, ejecutadas por especialistas de la Escola Superior d'Arquitectura Tècnica, permitirá detectar y traducir los puntos negros de los edificios y evitar accidentes o desprendimientos. En los primeros meses de trabajo, los técnicos han revisado cerca de 4.000 inmuebles en los barrios de Collblanc, la Torrassa, la Florida y Pubilla Casas.

Francesc Jordana, coordinador general del proyecto y director de la escuela universitaria de arquitectos técnicos de la UPC, define las actuaciones que se están llevando a cabo en L'Hospitalet desde el pasado mes de noviembre como "una radiografía general y a la vez individual del estado de salud de las fachadas". El control de la UPC afectará a 11.500 edificios, previamente seleccionados, cifra que supone el 80% del parque de viviendas de la ciudad.

Los diagnósticos definitivos del programa no se conocerán hasta dentro de un año, pero los primeros chequeos ya permiten emitir algunas valoraciones. La primera es que desde que se iniciaron las inspecciones se han multiplicado por cinco las obras de reparación de fachadas. Si antes del inicio del programa se solicitaban mensualmente al Ayuntamiento 40 licencias de rehabilitación de inmuebles —solo entre el 30% y el 40% eran para fachadas—, ahora se tramitan un centenar de permisos al mes, de los que el 80% son para fachadas. "Los vecinos y las comunidades de propietarios se han sensibilizado con el problema", explica Jordana.

## Catálogo de riesgos

Vicenç Gibert, director de operaciones del plan, destaca que la intervención de los técnicos de la UPC permitirá elaborar antes de un año "un catálogo de fachadas con riesgo" que podría ser utilizado "de forma selectiva" en el caso de que se probara la ejecución de una ITV para edificios.

Pese a que el catálogo todavía está en fase embrionaria, los continuos contactos entre los técnicos del programa de la UPC y el Ayuntamiento de L'Hospitalet permiten actuar "de forma inmediata en casos de emergencia", explica el coordinador general del proyecto. Cuando los especialistas detectan una fachada extremadamente peligrosa, visan al consistorio y éste moviliza a las brigadas municipales o a los bomberos, que siempre toman medidas preventivas para evitar siniestros antes de que trasciendan 24 horas.

El análisis de las inspecciones realizadas a los más de 4.000 inmuebles de los cuatro barrios en los que se ha activado el programa ya ha permitido a los técnicos

SANTIAGO BARTOLOME



Obras de reparación en la fachada de un edificio en la plaza de Blas Infante.

SANTIAGO BARTOLOME



Fincas 57 de la calle de Montseny, que está siendo rehabilitada.

SANTIAGO BARTOLOME



Reparaciones en la confluencia de Joventut con Desamparats.

extraer las primeras conclusiones. La más destacada es que el 6,5% de las fachadas analizadas han requerido una actuación inmediata, y que en todos los casos la coordinación entre UPC, técnicos municipales, Guardia Urbana y bomberos ha sido "excelente", resalta Gibert.

La segunda conclusión importante es que "más de la mitad" de los edificios de Collblanc, la Torrassa, la Florida y Pubilla Casas construidos entre los años 1960 y 1975 "bien al menos un punto negro en su fachada", indica Jordana. No obstante, la situación del parque de fa-

chadas de los cuatro barrios no es preocupante, según la UPC, pues la mayoría de los bloques solo requiere la aplicación de un concienzudo plan de mantenimiento.

Gibert y Jordana coinciden en señalar que los propietarios de los inmuebles de L'Hospitalet

con fachadas en mal estado han actuado "con rapidez" a petición de los técnicos. Los dos profesores universitarios también han valorado de forma muy satisfactoria que la concesión de un permiso municipal de obra para reparar fachadas sea actualmente gratuito. ■

## EL ESTUDIO

## Un proyecto exportado a Londres y Lisboa

► ANTECEDENTES. El estudio que los técnicos de la UPC están llevando a cabo en L'Hospitalet es tan novedoso que solo se le conoce un antecedente similar: el informe que los especialistas en arquitectura urbana de la UPC elaboraron sobre algunas fachadas de Casc Antic de Barcelona a petición de la asociación de vecinos.

► EL SISTEMA. Los inspectores de fachadas trabajan en equipos de dos personas que realizan un cuestionario sobre un listado de aspectos o parámetros de cada fachada. Las anotaciones se introducen en una base de datos y el ordenador central emite un diagnóstico.

► LOS EQUIPOS. En el chequeo a las fachadas de L'Hospitalet trabajan 16 personas. Cada equipo realiza por turnos una inspección general y otra de detalle con prismáticos en cada fachada. Algunos equipos incorporan a universitarios de la UPC que han realizado un curso específico de fachadas de tres meses y que aprovechan la experiencia como trabajo de final de carrera. Según Jordana, todos los estudiantes que participan en el programa "están especializados en rehabilitación y mantenimiento de fachadas" y han sido seleccionados por sus profesores.

► LAS UTILIDADES. Los técnicos de la UPC consideran que L'Hospitalet funcionará como "un laboratorio" y que los resultados que se obtengan del chequeo de las fachadas serán extrapolables al mundo de la construcción. De hecho la Politécnica ha iniciado un programa piloto en Londres y Lisboa para experimentar si el modelo ensayado en L'Hospitalet es exportable.

► EL RESULTADO. Los especialistas consideran que las conclusiones finales del informe podrán detectar hipotéticos errores globales o serie de construcción o de tratamiento de fachadas, tipo aluminosis, que evitarán futuros accidentes por desprendimientos o forzarán a prohibir materiales o técnicas.







el Periódico Martes, 1 de marzo del 2000

COSAS DE LA VIDA 23

## GRAN BARCELONA

# Ciutat Vella rescata sus fachadas

Una inspección a 300 edificios halla 69 que precisan reparaciones urgentes | Técnicos de la Politécnica revisarán otras 300 fincas los próximos meses | Un informe revela que la Barceloneta es la zona con más inmuebles con riesgo

**ROSARIO FONTOVA**  
Barcelona

Técnicos de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) han inspeccionado 300 fachadas del distrito de Ciutat Vella, de las que 69 necesitan intervención a corto plazo para evitar que posibles desperfectos causen daño a personas. Con 23 puntos negros, la Barceloneta es el barrio más afectado, aunque este primer estudio constata que la rehabilitación no es alarmante teniendo en cuenta la antigüedad de construcción. El laboratorio de edificación de la Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona ha chequeado los edificios para elaborar un catálogo de fachadas con factor de riesgo en el distrito. La campaña proseguirá, con el chequeo de otros 300 edificios.

Esta campaña se enmarca en la política de rehabilitación de edificios que propone el distrito de Ciutat Vella y que se beneficiará entre el 2000 y el 2001 de un 20% de subvención a cargo de las administraciones públicas. Un informe destaca que en Ciutat Vella hay 4.000 edificios habitados que en un 80% suponen el tipo de antigüedad, según Josep Maria Lluçà, gerente del distrito.

**Ornamentos**

Según Lluçà, el informe constata que existe menos peligro de desmoronamiento en Ciutat Vella que en el Eixample, "porque hay menos riqueza ornamental y menos elementos decorativos en los edificios". La mayoría de las patologías detectadas en las fachadas son desconchados de revoco y mal estado de cornisas, vidrios y balcones susceptibles de hacer a los peñones si se desprenden.

El laboratorio de edificación, dirigido por los profesores Francisco Jordana y Vicent Gibert, determina mediante inspecciones visuales 300 fachadas de los cuatro barrios de Ciutat Vella y que han coincidido con los sectores de actuación preferente previstos para el periodo 1999-1999. La inspección determina mediante evaluaciones del tipo de estado de la fachada, que va desde la declaración de peligro inminente a la rehabilitación a medio término y el mantenimiento preventivo.

La recata de propuestas de actuación se corresponde con el diagnóstico. La calificación de mantenimiento preventivo se acompaña de una carta con el resultado de la inspección de la Politécnica y con información sobre las ayudas públicas a la rehabilitación.

Cuando se constata que el estado de la fachada es preocupante, el distrito efectúa un requerimiento que, si no tiene respuesta, se remata con multas que van de las 25.000 a las 100.000 pesetas. La actuación de los bomberos se determina en los edificios catalogados de peligro inminente.

En 1999 se realizaron en el distrito 807 intervenciones de distinto alcance en fachadas. De ellas, 191 fueron efectuadas por los bomberos de forma urgente, 69 en virtud del informe de la UPC y el resto por actuaciones preventivas y por los servicios técnicos del distrito.

Las conclusiones del estudio concluyen que, de las 300 fachadas examinadas, los propietarios de 69 de los edificios deben actuar de forma urgente para solucionar desperfectos. De las 69, 29 fachadas están situadas en la Barceloneta, 19 en el Casp Antic, 18 en el Raval, y 9 en el Gòtic.

Esta operación da origen del estado de las fachadas se ha acompañado de una campaña de concienciación sobre la necesidad de mejorar las condiciones de habitabilidad. Según datos de la Generalitat de Catalunya, los muelles de la rehabilitación de fachadas han subido. En el periodo 1994-1999, la cifra de rehabilitación ha subido a 344 fachadas. De este total, 235 se han restaurado en 1999, más que ahora la tasa municipal. En el caso del programa de restauración de edificios barceloneses, de 180 edificios, 28 están en obras o ya terminados.

Para el periodo 2000-2001, los propietarios de Ciutat Vella se beneficiarán de un 20% del coste de sus proyectos de rehabilitación. La ayuda oficial aumenta hasta un 30% en cuatro zonas de centros a proteger: el Pla Central del Raval, la plaza de Graó Oriol, los jardines de la Plaça de Sant Pere més Baix, y la calle Florea Dacòs y alrededores.

**Esgrafados barrocos recién restaurados en el 1 de la calle del PL.**

**Fachada restaurada en Vinarós, 35, en la Barceloneta.**

**Fachada reparada en la calle de Flaxassars, 23, en el Casp Antic.**

## El Ayuntamiento renuncia a rehabilitar los pisos de Cambó

El consistorio decide proteger únicamente las fachadas afectadas

**R. F. Barcelona**

El Ayuntamiento de Barcelona ha abandonado un plan especial para modificar el programa de conservación de los pisos de Cambó. El proyecto de Porta Cambó, que propone la prolongación de esta vía suprimiendo algunas fincas hasta Pla de la Figuera para conectar la zona de Via Laietana con Sant Pere més Baix. El Ayuntamiento tuvo que abandonar el programa de derribos previos y el trazado inicialmente lined y agrandado a un estudio más profundo de la edificación, realizado después de la construcción de anteriores planes.

El plan especial, que tiene fecha de enero, sugiere la formulación de un programa de rehabilitación integral, dado que "en todos los edificios es necesario hacer una reestructuración completa de su interior que incluye un cambio radical de su distribución, lo que exige a veces el cambio de ubicación de pisos y escaleras de vecinos". Esta medida se ha adoptado como resultado de "un estudio más profundo de la edificación" realizado después de la construcción de anteriores planes.

25/10/2000 LA VANGUARDIA

## L'HOSPITALET

Sólo el 10% de las fachadas estudiadas presenta deficiencias serias

# L'Hospitalet habrá revisado todas sus fachadas el próximo año

**DAVID MIQUEL**

L'HOSPITALET. - A finales del 2001, L'Hospitalet contará con un estudio sobre el estado de todas y cada una de las fachadas de los edificios que alberga. Este caso, posiblemente único en toda España, se debe a un convenio que ayer se amplió entre el Ayuntamiento y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

La colaboración empezó hace ahora tres años. Esta experiencia consiste en que estudiantes de último curso de Arquitectura elaboran un informe sobre el estado de las fachadas de la ciudad.

El informe establece diversos grados de conservación y en los casos más graves el Consistorio abre un expediente instando a la propiedad a emprender las obras de reparación. De momento se han estudiado los barrios más antiguos (Centre, Colibanc, Pobla Casas, Santfeliu, Torrasa y Santa Eulàlia), con un total de 8.000 fachadas analizadas, de las que 730 necesitaban una actuación urgente. De estas últimas, 613 ya se han reparado o se están reparando.

Ahora queda por delante el estudio de los barrios más nuevos y cada una de las fachadas de los edificios que alberga. Este caso, posiblemente único en toda España, se debe a un convenio que ayer se amplió entre el Ayuntamiento y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

La colaboración empezó hace ahora tres años. Esta experiencia consiste en que estudiantes de último curso de Arquitectura elaboran un informe sobre el estado de las fachadas de la ciudad.

El informe establece diversos grados de conservación y en los casos más graves el Consistorio abre un expediente instando a la propiedad a emprender las obras de reparación. De momento se han estudiado los barrios más antiguos (Centre, Colibanc, Pobla Casas, Santfeliu, Torrasa y Santa Eulàlia), con un total de 8.000 fachadas analizadas, de las que 730 necesitaban una actuación urgente. De estas últimas, 613 ya se han reparado o se están reparando.

Ahora queda por delante el estudio de los barrios más nuevos y cada una de las fachadas de los edificios que alberga. Este caso, posiblemente único en toda España, se debe a un convenio que ayer se amplió entre el Ayuntamiento y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

La colaboración empezó hace ahora tres años. Esta experiencia consiste en que estudiantes de último curso de Arquitectura elaboran un informe sobre el estado de las fachadas de la ciudad.

El informe establece diversos grados de conservación y en los casos más graves el Consistorio abre un expediente instando a la propiedad a emprender las obras de reparación. De momento se han estudiado los barrios más antiguos (Centre, Colibanc, Pobla Casas, Santfeliu, Torrasa y Santa Eulàlia), con un total de 8.000 fachadas analizadas, de las que 730 necesitaban una actuación urgente. De estas últimas, 613 ya se han reparado o se están reparando.

Ahora queda por delante el estudio de los barrios más nuevos y cada una de las fachadas de los edificios que alberga. Este caso, posiblemente único en toda España, se debe a un convenio que ayer se amplió entre el Ayuntamiento y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

## L'HOSPITALET

# Reparades 730 façanes en 3 anys

## L'Ajuntament de l'Hospitalet i la Universitat Politècnica (UPC) han firmat un conveni per inspeccionar les 2.500 façanes que encara estan pendents de revisió a cinc barris. Des del 1997, la UPC ha revisat unes 8.000 façanes i n'ha detectat problemes greus a 730, que han estat restaurades. - X. A.

La Estrella CRONICA

## Arquitecto español dio voz de alerta

# Experto en patrimonio: "Valparaíso necesita una importante conservación"

por Anita Collado G.

Sorprendido por la belleza de Valparaíso, pero también inquieto por la necesidad de que esta ciudad tenga una pronta intervención para recuperar el patrimonio histórico y así evitar accidentes de riesgo para las personas, por desprendimiento de materiales sueltos de los edificios, se mostraron los arquitectos españoles de la Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona, que participan del seminario de patrimonio y gestión que organizó el municipio chileno.

Se trata de Francesc Jordana y Vicent Gibert, quienes se han empeñado en exponer a los arquitectos y técnicos de la zona sobre el modelo de trabajo que se aplica en España, principalmente en Barcelona, para restaurar inmuebles de valor patrimonial.

Francesc Jordana, director de la Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona, conversó con La Estrella.

**«¿Conocen Valparaíso?»**  
"No, lo hemos conocido recientemente en su parte histórica y nos ha sorprendido mucho porque tiene una estructura morfológica distinta a lo que nosotros tratamos habitualmente que es Barcelona, que también tiene una parte elevada en su geografía pero con un tratamiento muy distinto".

**«¿Qué impresión les ha dejado?»**  
"Es una ciudad que necesita una actuación importante de conservación y de mantenimiento de una parte del patrimonio, como también de la parte de riesgo para la gente. A nosotros nos preocupan fundamentalmente las zonas de riesgo".

**«¿Significa que evolucionan las zonas de riesgo?»**  
"Así es. Hay zonas de riesgo y de menor riesgo para las personas. Hay zonas en que hay que actuar rápidamente porque pueden presentar un riesgo para la gente. A nosotros nos preocupan fundamentalmente las zonas, como ya también se pasó en Valparaíso, de algún accidente mortal por desprendimiento de elementos de fachadas. Es por ello que, en primer lugar, lo que nos interesa es poder eliminar estos elementos que son los que pueden afectar a las personas. Es decir, tanto a los que viven como los que pasan por la ciudad".

**«¿Es necesario conservar todo lo antiguo?»**  
"Cero que hay que mantener todo lo que se pueda mantener y en algunos casos construir sobre lo construido cuando realmente el mantenimiento se hace muy complejo y difícil porque es el deterioro del edificio".

**«¿Cómo se podría compatibilizar lo antiguo con lo nuevo?»**  
"Lo nuevo tendrá que mantener la topografía y estructura de un modelo que se está dando en el lugar de construcción, además del carácter que tiene la ciudad, el barrio o zona en que se quiere edificar".

**«¿Cuánto tiempo tardó Barcelona en recuperar su patrimonio?»**  
"Es un trabajo de años, digo yo, pero como mínimo la transformación más importante, y la más difícil desde un punto de vista de los edificios, llevó cerca de 15 años o lo antes y quedó mucho por hacer todavía".

**«¿Por qué?»**  
"Porque los edificios se deben mantener constantemente y su cuidado es de la responsabilidad de los propietarios y de todos los que quieren conservar inmuebles de valor patrimonial".



**Año 81 - Nro. 23.813 - Viernes 30 de Noviembre de 2001**  
**Espanoles han fichado 300 edificios porteños**



El acucioso trabajo técnico de fichar cada una de las fachadas de los inmuebles del casco histórico de Valparaíso han realizado desde septiembre hasta la fecha un grupo de jóvenes estudiantes de último año de arquitectura de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Como resultado, ya tienen fichadas más de 300 propiedades las cuales están consignadas en su informe con todo los antecedentes sobre su estado de preservación.

Esta labor, que se realizará hasta el 15 de diciembre, se ha hecho mediante un convenio entre el municipio porteño, la Universidad de Valparaíso y la Universidad Politécnica de Cataluña, como parte de un acuerdo que se adoptó en el último seminario sobre el Patrimonio que se hizo en la biblioteca Santiago Severín.

Por parte del municipio porteño, los profesionales de la Unidad Técnica del Patrimonio son los que han acogido a los jóvenes españoles Noelia Robles, Olga Daniel, Cristian Salas y Pilar Cortés, con el propósito de coordinar esta importante informe que, según se precisó, será adjuntado al expediente de postulación de Valparaíso ante la Unesco.

Se precisó que además los estudiantes están dirigidos por los académicos de la Universidad de Cataluña, Francesc Jordana I Ribá y **Vicent Gibert Armentó**, expertos en gestión y edificación.

**SU IMPRESION**  
 Noelia Robles expresó que "Valparaíso es una ciudad muy particular. Las distintas fachadas con diferentes colores, realmente, son algo que no se ve en todas partes. La misma construcción de adobe con madera es algo no visto en España".

Olga Daniel precisó que "los ascensores y toda la magia de esta ciudad son algo que realmente nos llenaría de gozo si sa reconocen Patrimonio de la Humanidad".

Por su parte, Cristian Salas manifestó que "esperamos que este trabajo les sirva porque realmente hacemos un detalle de cómo se ven los edificios en una proyección a lo que incluso deberían ser. Valparaíso es muy especial y nos ha encantado. La gente opina cosas diferentes. Algunas no saben mucho de esto, otras si y otras quisieran saber más y eso es importante".

Pilar Cortés explicó que "es importante que se reconozca la historia de una ciudad y ello sólo es posible conocer a través de sus inmuebles, edificios y todo lo que representa la cultura de un lugar. Ojalá la gente lo entienda así, ya que esta no es una ciudad cualquiera".

**Destacan necesidad de crear conciencia patrimonial**  
 Expertos españoles sostienen que comunidad debe sentirse parte integrante de su ciudad e historia

La principal herramienta para lograr la conservación de los valores patrimoniales de una ciudad es que su gente tome conciencia de que cada una de sus calles le pertenece y que forman parte de su historia. Sin embargo, a Valparaíso aún le falta trabajar sobre ello, pues es un proceso que involucra un trabajo a nivel educacional muy profundo.

Esta es la clave de oro que, a juicio de los académicos de la Escuela Universitaria Politécnica de Barcelona, ha logrado que esta ciudad ocupe un lugar destacado dentro de la lista de sitios patrimoniales del mundo, nominación que cubren tras un largo proceso que se desarrolló durante más de diez años.

Para Francesc Jordana y Ribá, la nominación de Valparaíso como patrimonio de la humanidad depende de todos los actores, no sólo de las autoridades, sino también las asociaciones, los vecinos, comerciantes y empresas privadas.

De lo poco que he visto de la ciudad, me parece que aún hay trabajo por hacer: es necesario contar con recursos y hay que rehabilitar algunas zonas, tal como ocurre con todas las ciudades que tienen un sector nuevo y un casco antiguo", comentó Jordana.

Sin embargo, planteó que previo a ello es necesario elaborar un plan general urbanístico que defina zonas de equipamiento, zonas de conservación, necesidades y que determine con claridad qué se puede hacer y qué no.

Para **Vicent Gibert Armentó**, una política de conservación del patrimonio requiere necesariamente la participación y el compromiso de la gente del lugar. Para ello, en el caso concreto de Barcelona, se realizó durante quince años una campaña de educación la que permitió crear una real conciencia de lo que es el patrimonio y sus valores.

"Cuando esta conciencia se logra, las personas sienten que la ciudad es parte de su casa, y cuando se llega a esto lo has conseguido todo, porque la calle se cuida como si fuera propia, al igual que todo lo que hay en ella", dijo el profesional, quien advirtió que sería muy recomendable que este proceso de toma de conciencia se iniciase en Valparaíso.

no 167 Data: Setembre 2004  
 Informacions

**la recerca**

**Els experts alerten de la necessitat d'invertir en el manteniment dels edificis**



Estudis recents realitzats des del Laboratori d'Edificació a les ciutats de Barcelona i de l'Hospitalet, en l'àmbit català, i Santiago de Xile, Valparaíso i el Districte Federal de Mèxic, en l'àmbit internacional, demostren que les ciutats experimenten un procés de degradació important. Aquest estat es reflecteix tant en la façana principal dels edificis com en patis, cobertes i altres elements comuns.

Tant **Vicent Gibert** com Francesc de Paula Jordana, professors del Departament de Construccions Arquitectòniques II, destaquen que "cal iniciar campanyes contundents per conscienciar de que cal invertir en supervivència i durabilitat per evitar així un reiterat sistema de subvencions i rehabilitacions permanents dels edificis". Actualment, no només cal intervenir en els edificis que mostren deficiències per l'envel·liment i la manca de mesures de manteniment, sinó que "el més greu és que cal tornar a intervenir en aquells edificis que es van rehabilitar fa menys de deu anys", afirma **Vicent Gibert**, qui afegeix: "estem obligats a planificar el futur del patrimoni quotidià de les àrees urbanes si no es vol hipotecar el futur".

Según estudio de 350 fachadas - **CIVDADES** -  
 Sábado, 15/03/03

**Urge reparación en el casco histórico porteño**

► **Expertos nacionales y extranjeros calificaron de grave el estado que presenta el promedio de edificios.**



Daños de gravedad en gran parte de los 350 inmuebles y fachadas patrimoniales de la ciudad, pudieron detectar los profesionales del municipio porteño y de las universidades Valparaíso y de Cataluña, a partir del "Proyecto de Diagnóstico y Recuperación de Fachadas del Casco Histórico", mediante un plan de monitoreo para determinar el tipo de intervención necesaria en zonas como el entorno de la iglesia La Matriz, plaza Echaurren, Sotomayor, y cerros Alegre y Cordillera.

De allí que el objetivo del plan apunte a entregar el estado de los edificios y las posibles soluciones a aplicar en cada caso, así como determinar las causas de los daños como la humedad, filtraciones de cubiertas, falta de mantenimiento y malas intervenciones.

**INMUEBLES**

Así lo manifestó el director del Laboratorio de Edificación de la Universidad Politécnica de Cataluña, **Vicent Gibert**, para quien el estado de los inmuebles porteños pueden clasificarse en aquellos que requieren acciones de reparación inmediata y otras que necesitan labores permanentes de mantenimiento.

Recalcó que la comuna porteña presenta características similares a las de otras localidades americanas y europeas, "porque no ha habido una cultura de mantenimiento ni en éste ni en otro país, por lo tanto lo más importante de este trabajo es la mentalización de los gobernantes, de los técnicos y también de la ciudadanía".

**COMPROMISO**

En todo caso, comentó que si bien existen casos puntuales en evidente deterioro, no es posible establecer un área de mayor destrucción "porque a veces no depende tanto de la zona, sino de la tipología constructiva, ni tampoco si está en el cerro o en el plan porque todo depende de cómo se haya construido y con qué materiales".

Sin embargo, el experto enfatizó la importancia de reconocer el envejecimiento natural de los edificios a tiempo, con el propósito de fijar acciones preventivas a largo plazo, lo que implica establecer un plan de entre 20 y 40 años.

**Postulación**

Asimismo, **Gibert** comentó la importancia de asumir el tratamiento de este problema como un antecedente para reforzar la postulación de Valparaíso como Patrimonio de la Humanidad, y agregó que "hace quince días hablé personalmente con un arquitecto de la Unesco sobre este proyecto que le pareció muy interesante, porque en Europa no es una técnica habitual".

Por ello, aclaró que para la pronta recuperación de los inmuebles es menester contar con recursos gubernamentales, pero más que nada que "el ciudadano entienda que Valparaíso no es del político ni del Estado, sino del que vive y convive en la ciudad, porque es el único heredero".

# Anejo C

## ANÁLISIS PRELIMINARES URBANOS



En este anejo se profundiza en todos aquellos aspectos que se han considerado de relevancia para la investigación que se está llevando a cabo y que nos han permitido establecer unas vínculos bajo otros parámetros de análisis a macroescala de la ciudad, en el cuerpo de la Tesis Doctoral, de todos aquellos eventos que de una forma u otra incorporan fenómenos que estimulan el efecto de vulnerabilidad del frente urbano.

La elaboración de cada sección desarrollada resume y profundiza los estudios realizados, al propósito, por Lourdes Estéfano (2013), bajo mi dirección, en su trabajo final de grado en Ciencias y Tecnologías de la Edificación en la EPSEB.

Sin perder de vista el concepto fundamental de cañón urbano físico, que es el verdadero elemento de interés en la investigación, se ha indagado en aquellos fenómenos medioambientales que son susceptibles de ser confinados, de forma regular, dentro de este espacio urbano.

### C.1 Radiación solar

Para determinar la posición del sol y la localización de un punto determinado sobre la tierra, se emplean sistemas de coordenadas terrestres y celestes, cuyas componentes más características son la latitud, longitud, altura solar y azimut.

Las coordenadas terrestres a partir de las cuales se puede situar un elemento en la superficie terrestre son la latitud y longitud, correspondientes a su paralelo y meridiano respectivamente. La latitud ( $\varphi$ ) mide el ángulo entre el ecuador y un punto cualquiera situado en la superficie terrestre, siendo norte o sur según su situación respecto al ecuador, y la longitud (L) es la distancia en grados que separa el meridiano de Greenwich con el meridiano del lugar, midiéndose de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . La Figura C.1 ilustra las coordenadas terrestres.

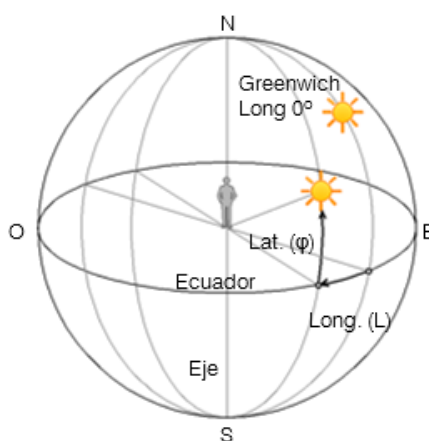


Figura C.1 Coordenadas terrestres (Maldonado, 2011)

La localización del sol se consigue sobre las coordenadas celestes: altura solar y azimut, considerando las coordenadas horizontales como el plano de referencia.

La altura solar ( $h$ ) se define como el ángulo que forma la posición del sol con respecto al plano horizontal. Su valor absoluto se encuentra siempre entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  cuando el astro es visible (sobre el horizonte), es decir, desde la salida del sol hasta el cenit de cada día (las 12.00 h solares), variando según la latitud del lugar. Si el sol no es visible (se encuentra bajo el horizonte) entonces se considera dicho valor en negativo. El acimut ( $z$ ) es la distancia angular medida sobre el horizonte celeste y a partir del plano del meridiano del lugar. Tiene valores entre  $0^\circ$  (punto cardinal Norte) y  $\pm 180^\circ$  (Sur). De esta forma, siguiendo el sentido horario, un acimut de  $90^\circ$  corresponde al punto cardinal Este, mientras que en sentido anti-horario, un acimut de  $-90^\circ$  recae al punto cardinal Oeste. Estas coordenadas dependen de la posición del observador, es decir, un mismo astro en un mismo momento es visto bajo diferentes coordenadas horizontales por diferentes observadores situados en puntos diferentes de la Tierra.

Gonzalo y Nota (2004) señala que la trayectoria que realiza el sol cada día sobre la bóveda celeste se caracteriza por transcurrir sobre unos puntos singulares, tales como: el punto más alto llamado cenit, el punto más bajo conocido como nadir y el plano del horizonte con las orientaciones principales (norte, sur, este y oeste). Dicho recorrido solar se efectúa a través de un arco por el que sale desde el este, toma altura hasta alcanzar el punto máximo, empieza a disminuir su altura y acaba ocultándose por el oeste. En las Figuras C.2 y C.3 se representan las coordenadas celestes y el movimiento solar.

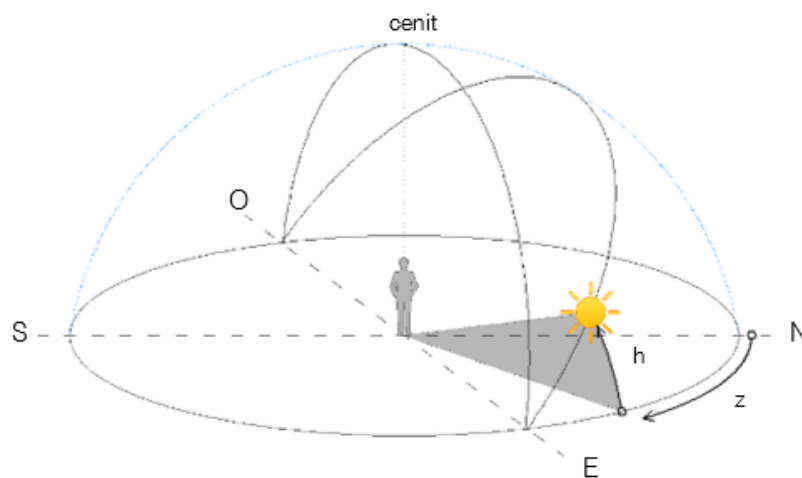


Figura C.2 Representación del movimiento del sol (Gonzalo y Nota, 2004)

Utilizando estos valores, que variarán en función de la hora del día y los días del año, se puede determinar la posición del sol respecto a un edificio en una determinada latitud y longitud de la tierra. Generalmente, a mayor latitud, la altura solar será menor, registrándose las alturas máximas entre los trópicos y las mínimas en los círculos polares.

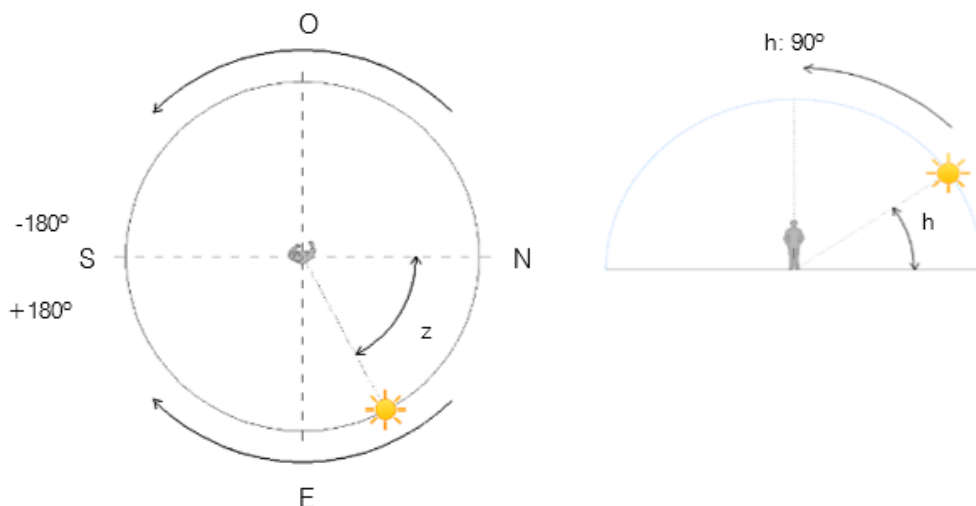


Figura C.3 Ubicación del sol (Gonzalo y Nota, 2004)

### Recorrido del sol

El Sol transcurre alrededor de la Tierra por la línea eclíptica. Esta línea está formada por la intersección del plano de la órbita terrestre con la esfera celeste, y define el recorrido del Sol a lo largo de un año visto desde la Tierra.

El plano que contiene a la eclíptica se encuentra inclinado  $23^{\circ} 27'$  con respecto al plano del ecuador terrestre. Ambos planos se interseccionan en dos puntos opuestos llamados equinoccios.

El equinoccio es el momento del año en que el Sol alcanza el cenit, es decir, sale exactamente por el este y se pone exactamente por el oeste y, por lo tanto, la duración del día y de la noche es exactamente de 12 horas. Ocurre dos veces por año: el 20 o 21 de marzo y el 22 o 23 de septiembre, coincidiendo con el inicio de la primavera y del otoño respectivamente.

Cabe destacar, también, que al mediodía el sol se sitúa sobre el sur, con un azimut de  $0^{\circ}$ , y formando con el punto máximo de la bóveda celeste un ángulo igual a la latitud. Por ello, en estos casos la altura solar se podrá calcular de la siguiente manera:

$$h = 90^{\circ} - \varphi$$

A lo largo del año la posición del Sol vista desde la Tierra se mueve hacia el norte y hacia el sur, debido a que el plano del horizonte se encuentra inclinado respecto al plano del horizonte equinoccial debido al ángulo de inclinación del eje de la Tierra respecto al plano de la eclíptica (declinación  $\delta$ ), dando lugar a los solsticios de invierno y verano.

Cuando el Sol alcanza la mínima declinación sur ( $-23^{\circ} 27'$ ) con respecto al ecuador terrestre, es decir, el sol al mediodía se sitúa sobre el sur, donde se forma junto al cenit un ángulo igual a la

latitud menos la declinación, se da lugar al solsticio de invierno. Ocurre entre el 21 o 22 de diciembre, coincidiendo con el inicio del invierno, y día en el cual la noche es la más larga del año, en el hemisferio norte. La altura solar se puede calcular como:

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta$$

El solsticio de verano, en cambio, tiene lugar cuando el Sol alcanza la máxima declinación norte ( $+23^\circ 27'$ ) con respecto al ecuador terrestre, y por lo tanto, el mediodía se sitúa sobre el norte y se forma con el cenit un ángulo igual a la latitud más la declinación. Ocurre entre el 20 o 21 de junio, coincidiendo con el inicio del verano, y día en el cual el día es el más largo del año. La altura del sol se puede calcular como:

$$h = 90^\circ - \varphi - \delta$$

Hay que tener en cuenta que la fecha del solsticio de invierno en un hemisferio y la del solsticio de verano en el otro hemisferio es la misma, es decir, cuando en el hemisferio norte empieza el invierno, en el hemisferio sur empieza el verano, y viceversa. En la Figura C.4 se representan los solsticios y equinoccios, en el que se puede apreciar el comportamiento del sol en un supuesto mediodía al inicio de cada estación.

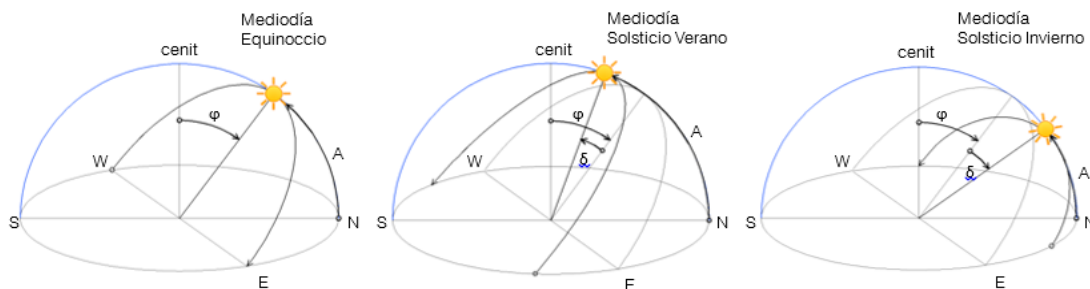


Figura C.4 Equinoccios y solsticios (Maldonado, 2011)

Las horas de luz varían durante el año en función del equinoccio o solsticio en la que nos encontremos. Las horas de sol desde el equinoccio de primavera hasta el solsticio de verano van aumentando, y a partir de este último se van reduciendo hasta que en el equinoccio de otoño se igualan las horas de luz y de oscuridad. En el solsticio de invierno se alcanza el máximo de horas de oscuridad.

Por todo esto, la repercusión del Sol sobre las fachadas variará según el recorrido del mismo, pudiéndose determinar las épocas del año con mayor y menor incidencia solar. En Tabla C.1 se relaciona ambos conceptos.



Recorrido solar	Grado de regularidad solar
Solsticio de verano	Alto
Equinoccio	Medio
Solsticio de invierno	Bajo

*Tabla C.1 Grado de regularidad solar*

## Cartas solares

Las cartas solares es uno de los sistemas más utilizados, entre los varios que existen, para determinar la posición del sol y su recorrido.

La construcción gráfica de una carta solar se basa en la proyección cónica o cilíndrica de los recorridos aparentes del sol en la bóveda celeste sobre un plano, pudiendo determinar los valores de acimut y altura solar para distintas horas del día, días del año y latitudes.

Los dos tipos de cartas solares más utilizadas son la cilíndrica y la estereográfica, en las que se representa el recorrido del sol en los días significativos del año, como son los equinoccios y los solsticios.

La primera y la más importante carta, a partir de la cual se apoyan los restantes métodos, fue la carta solar estereográfica de Fisher-Mattioni<sup>1</sup>. Esta carta es una representación en planta de la bóveda celeste con los recorridos solares, que permite una lectura directa de la localización del sol. Se basa en un sistema de coordenadas angulares, donde el radio representa la altura solar y los ángulos representan el acimut, mesurándose desde el Sur (0°) al Norte (180°).

Sobre este sistema de coordenadas, y en función de la altitud solar y el acimut para una determinada latitud, se representan los meses y las horas del día.

La intersección entre la curva de la fecha (día 21 de cada mes) y el punto de la hora solar real, nos indica la altura solar en los círculos concéntricos y el acimut del orto y el ocaso en el borde de la carta. En las Figuras C.5 y C.6 se ejemplifican la construcción de un punto sobre la superficie de la tierra y las partes de una carta solar estereográfica.

<sup>1</sup> [http://jferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/31\\_cartas\\_solares.html](http://jferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/31_cartas_solares.html)

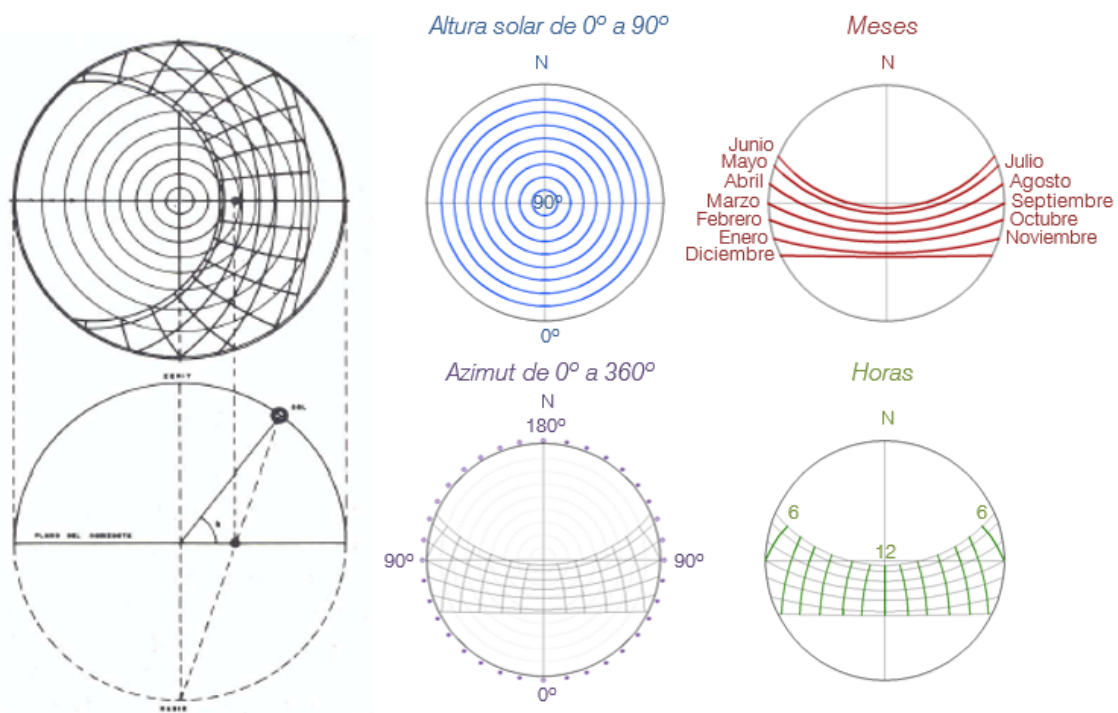


Figura C.5 Proyección estereográfica.  
Construcción de un punto

Figura C.6 Partes carta solar (Yáñez, 1988)

### Tipologías de radiaciones solares

La principal fuente de energía de la Tierra es la luz solar, es decir, el conjunto de radiaciones que proceden del Sol. Estas radiaciones emiten energía a razón de  $3,8 \times 10^{23}$  kW, de los cuales la superficie terrestre recibe  $1,7 \times 10^{14}$  kW. Se calcula que la temperatura media de la Tierra es de  $14,05$  °C ( $287,20$  °K).

Heras (2008) señala que la trayectoria de la radiación solar sobre cualquier punto de la superficie terrestre puede variar según el estado de la atmósfera y el grado de partículas que se encuentren en ella. Esta radiación puede manifestarse de tres formas distintas, dependiendo de cómo se recibe en los objetos. La radiación solar directa es aquella que llega directamente del Sol, atravesando la atmósfera en línea recta y llega a la superficie terrestre sin haber sufrido cambios en su dirección. Se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. La radiación solar difusa es aquella que, al igual que la anterior, atraviesa la atmósfera, pero ésta sufre varias desviaciones en su trayectoria, dando paso a una radiación adireccional, efecto producido por las reflexiones y absorciones de nubes, partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Se caracteriza, a diferencia de la radiación solar directa, por no producir sombra respecto a los objetos opacos que se interponen en su trayectoria. Y por último, la radiación solar reflejada es la radiación que refleja (valga la redundancia) la superficie terrestre. La cantidad de radiación reflejada depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben,

mientras que las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre.

En un día nublado no hay radiación directa, por lo que la radiación solar sobre un elemento es totalmente difusa, es decir, con un nivel de difusión del 1,00 (100%), penetrando mejor en las diferentes caras del mismo, dado su carácter adireccional.

En un día soleado o despejado, por el contrario, la radiación solar directa es superior a la difusa, siempre y cuando el sol tenga una cierta elevación sobre el horizonte. El nivel de difusión de la radiación solar en estas condiciones puede ser del 0,15 (15%). Si la elevación del sol es pequeña, en un día soleado, la radiación solar directa chocaría con la topografía del terreno, por lo que predominaría la radiación difusa. Por otro lado, la sombra que proyecta cualquier cuerpo opaco (o un edificio) en un día soleado es mucho más nítida y definida que la de un día nublado. La Figura C.7 muestra las distintas tipologías de radiaciones y las diferencias de sombras según el día sea soleado o nublado.

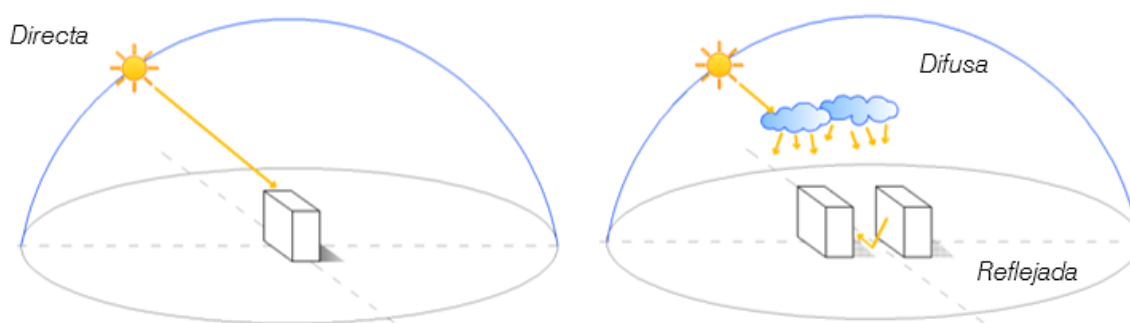


Figura C.7 Tipología de radiaciones solares

La unidad básica de medición de la radiación solar es el voltio o watt (W), pero la magnitud que describe la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación es la irradiación. Su unidad de medición del sistema internacional es vatio por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

La suma de las tres radiaciones solares anteriormente nombradas (directa, difusa y reflejada) constituye la radiación solar global o total.

$$G = R_d + R_f + R_r$$

donde:

$G$  radiación solar global ( $W/m^2$ )

$R_d$  radiación solar directa ( $W/m^2$ )

$R_f$  radiación solar difusa ( $W/m^2$ )

$R_r$  radiación solar reflejada ( $W/m^2$ )

## Coeficiente de absorción

Una parte de la radiación solar irradiada sobre una fachada o pared es absorbida por la misma y la otra es reflejada. La parte absorbida se transforma en calor y se acumula en la masa del material, favoreciendo al desgaste del mismo. En cambio, la parte reflejada rebota sobre el material.

Por ello, a la hora de evaluar el porcentaje de radiación solar a la que está expuesta una fachada el material de la misma tiene un papel importante, sin embargo no hay que olvidar su color, ya que éste influye también en dicho porcentaje. La reflexión es más elevada cuando el paramento es claro. Inversamente, el porcentaje de absorción es más alto cuando el color es más oscuro.

El coeficiente de absorción  $\alpha$ , se define como la relación entre la energía solar absorbida y la incidente. Su valor varía entre 0 y 1; dependiendo del color de la pared. Por lo tanto, cuando el color del paramento sea muy oscuro, el coeficiente de absorción será próximo a 1 ( $\alpha \sim 1$ ), análogamente, cuando más claro sea el color, el coeficiente de absorción se aproximará a 0 ( $\alpha \sim 0$ ). Por ello, una fachada de aluminio tendrá un coeficiente de absorción bajo, mientras que una de madera oscura tendrá un coeficiente más alto.

Además, para calcular el coeficiente de absorción de una fachada, hay que tener en cuenta otros factores, como el estado en el que ésta se encuentra; a más suciedad y/o envejecimiento natural del material, más absorción solar, o su orientación; una fachada orientada a sur favorecerá la absorción. La Figura C.8 presenta los diferentes coeficientes de absorción para diversos colores y materiales.

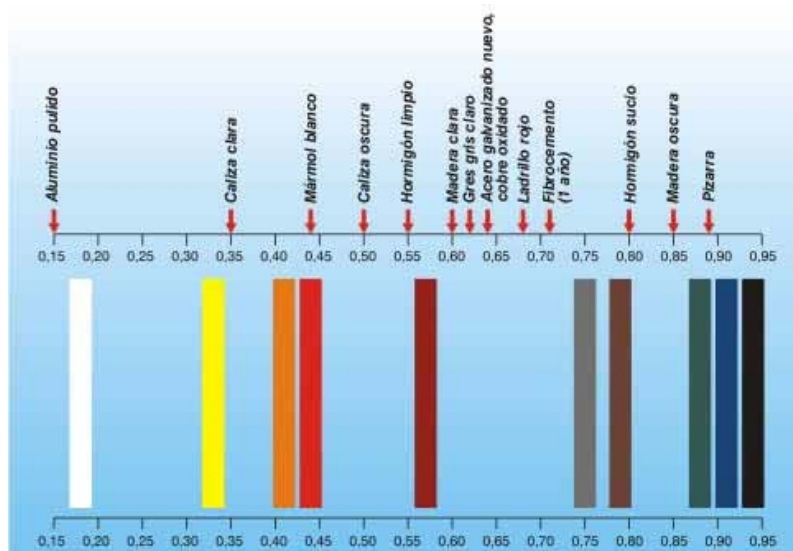


Figura C.8 Coeficiente de absorción para diferentes materiales y colores

## Temperatura

La temperatura del cañón urbano surge a partir del efecto producido por la incidencia de la radiación solar y la acumulación de calor en el terreno (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Sin embargo, la forma e intensidad de dicho fenómeno puede variar según las características urbanas, geográficas o meteorológicas del lugar, estableciéndose también, una desigualdad entre las temperaturas nocturnas y diurnas. Pese a ello, se pueden determinar dos tipologías de variaciones de la temperatura que generalmente se dan en un emplazamiento y a partir de las cuales se extraen los datos climáticos:

- **Variación anual:** cambio significativo que se da en la temperatura del aire en los meses de enero y julio, por ser los meses más extremados, observándose unos valores mínimos y máximos respectivamente.
- **Variación diaria:** cambio de temperatura entre el día y la noche de un lugar, analizándose en las horas más relevantes de la jornada, se suele observar un máximo cuando el sol pasa por el meridiano, y un mínimo en la puesta de sol.

También, las estaciones meteorológicas suelen registrar los cambios extremos en la temperatura, es decir, las máximas y las mínimas absolutas que hayan tenido lugar en un día concreto en una etapa determinada del año o del mes. Gran parte de esos datos e información climatológica sobre valores máximos, mínimos y medios se pueden encontrar a través de diversos servicios, tales como el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) o la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

A partir de los datos solares extraídos del SMC de las tres grandes comarcas catalanas (Barcelonès, Gironès y Segrià), se analizaron y se clasificaron los valores con el objetivo de diferenciar las variaciones de temperaturas según el año y la latitud del territorio. Para ello, se tuvieron en cuenta la temperatura máxima, media y mínima anual de cada comarca entre los años 2001 y 2012<sup>2</sup> (con excepción de los años 2004-2006 dado que durante ese período no se editaron tablas con información meteorológica). En la Tabla C.2 se observan los datos obtenidos en las comarcas del Barcelonès, Gironès i Segrià.

---

<sup>2</sup><http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/anuaris-de-dades-meteorologiques/xarxa-destacions-meteorologiques-automatiques/>

	Temperaturas (°C)									Media
	2001	2002	2003	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
<b>Comarca del Barcelonès</b>										
Temperatura máxima	23°	21°	22°	21°	20°	21°	20°	21°	21°	21°
Temperatura media	17°	16°	17°	17°	17°	17°	16°	17°	17°	17°
Temperatura mínima	14°	13°	13°	13°	14°	14°	13°	14°	13°	14°
<b>Comarca del Segrià</b>										
Temperatura máxima	21°	21°	22°	21°	22°	22°	21°	22°	22°	22°
Temperatura media	14°	14°	15°	14°	14°	15°	13°	15°	14°	14°
Temperatura mínima	8°	8°	9°	8°	8°	9°	8°	9°	8°	8°
<b>Comarca del Gironès</b>										
Temperatura máxima	22°	21°	22°	22°	21°	22°	20°	22°	22°	22°
Temperatura media	14°	14°	15°	14°	14°	15°	13°	14°	14°	14°
Temperatura mínima	7°	9°	9°	7°	8°	8°	7°	8°	7°	8°

Tabla C.2 Temperaturas (°C) anuales por comarcas

Sin embargo, [Maldonado \(2011\)](#) expone que la temperatura normal de una zona puede modificarse a partir de las siguientes condiciones territoriales:

- **Orientación:** En función de la orientación de un edificio, éste estará expuesto a unas determinadas radiaciones; La fachada sur, normalmente, es la más afectada por las altas temperaturas, a diferencia de la norte, que está menos expuesta.
- **Exposición al viento:** La temperatura de una zona variará en función del viento que se produzca en ella; En zonas donde se produzcan vientos constantes, la temperatura disminuirá, mientras que en zonas protegidas, es decir, con pocas corrientes de viento, ésta aumentará.
- **Vegetación:** El porcentaje de vegetación de una zona hace aumentar o disminuir la temperatura de dicho lugar; cuanta más vegetación, ésta interrumpe la radiación solar, haciendo que la temperatura de la zona disminuya.
- **Materiales:** El tipo de material empleado en los edificios influye en el aumento o disminución de la temperatura. Materiales altamente reflectantes o con un grado de emisión alto, aumentan la temperatura del aire durante gran parte del día, debido a la radiación solar absorbida, y por la noche a la disipación del calor acumulado.

Para realizar este estudio, se han determinado las temperaturas máximas, medias y mínimas que se dan en el conjunto de las comarcas, analizando y simplificando los datos obtenidos en la Tabla C.2, y teniendo en cuenta las posibles modificaciones que puedan sufrir las temperaturas en estas

zonas en un período determinado. En la Tabla C.3 se recogen las temperaturas medias obtenidas para las tres comarcas analizadas.

Temperaturas medias de las comarcas	
máxima	22°
media	15°
mínima	10°

*Tabla C.3 Temperaturas máximas, medias y mínimas de las comarcas analizadas*

Tomando estos valores de referencia en la zona de Cataluña podemos establecer un paralelismo entre las temperaturas y sus grados de intensidad solar. En la Tabla C.4 podemos ver las equivalencias establecidas.

Temperaturas	Grado de intensidad
> 20°C	Alta
10 - 20°C	Media
< 10°C	Baja

*Tabla C.4 Grado de intensidad solar*

Además, el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) recalca que la intensidad solar varía en función de la hora del día en que se recojan los datos meteorológicos. En la Tabla C.5 se asigna que grado de intensidad le correspondería en función de la hora considerada.

Horas solares	Grado de intensidad
12 - 16h	Alta
10 - 12h , 16 - 20h	Media
5 - 10h	Baja

*Tabla C.5 Horas e intensidad solar*

Los cambios de temperatura sobre los materiales producen diferentes tipos de patologías y hacen variar su resistencia, sin embargo, aun siendo conscientes de su importancia, para realizar este estudio, no tendremos en cuenta estos efectos producidos, centrándonos, simplemente, al estudio de la incidencia de la temperatura sobre una fachada en los casos más desfavorables.

## C.2 Circulación del viento

Al viento se le conoce como el aire en constante movimiento que transporta todo tipo de sustancias, energía y vapor de agua a través de la atmósfera. Los vientos son originados por diferencias de presión atmosférica, atribuidas, sobre todo, a variaciones de temperatura. Estas

variaciones en la distribución de la presión y la temperatura se deben, a la distribución desigual del calentamiento solar, junto a las diferentes propiedades térmicas de las superficies terrestres y oceánicas, así como al constante movimiento de rotación y translación de la Tierra.

Los continuos cambios de dirección e intensidad de los vientos hacen complicado predecir y evaluar sus efectos en una zona y fecha concreta. Sin embargo, para realizar el proyecto, y con el fin de poder definir cómo afectan a la durabilidad de las fachadas, se tendrán en cuenta las variables y conceptos generales del viento.

### Tipologías de vientos

De acuerdo con la escala o dimensión del recorrido de los vientos, éstos pueden clasificarse en:

- **Vientos globales:** se generan principalmente por el movimiento de rotación de la Tierra, la cual origina un desigual calentamiento de la atmósfera por la insolación (cantidad de energía recibida por una superficie). Estos vientos proceden de centros de acción dispuestos en franjas latitudinales de anticiclones y depresiones, es decir, con altas y bajas presiones respectivamente.
- **Vientos regionales:** determinados por la distribución de tierras y mares, así como por los grandes relieves continentales.
- **Vientos locales:** se producen por el desplazamiento del aire desde zonas de baja presión a zonas de presión más elevada, como los anteriores, con la particularidad de que afectan a áreas territoriales más pequeñas. Estos vientos cambian más fácilmente que los globales o regionales, ya que dependen de las características topográficas y las densidades de una zona determinada.

[Martín del Campo et al. \(2006\)](#) exponen que existen subcategorías de las tipologías anteriores en función de su regularidad y duración.

Los vientos globales, también llamados constantes o planetarios, son aquellos que soplan con la misma intensidad y dirección todo el año. Se sitúan en zonas próximas a latitudes ecuatoriales, subtropicales y polares. Los más comunes son los alisios, los contralisios, los del oeste y los polares.

- **Vientos alisios:** circulan a lo largo del paralelo ecuatorial hacia el ecuador, moviéndose así de zonas de alta presión a baja presión. Debido al movimiento de rotación de la Tierra, estos vientos se mueven de noreste al suroeste en el hemisferio norte, y sureste al noroeste en el hemisferio sur.
- **Vientos contralisios:** se mueven en dirección contraria a los alisios, debido a que se originan por la ascensión de grandes masas de aire cálido en zonas ecuatoriales y se desplazan



hacia zonas más frías. Estos vientos se desplazan en dirección noroeste en el hemisferio norte y en dirección sureste en el hemisferio sur.

- **Vientos del oeste:** se producen por el contraste de temperatura entre el ecuador y los polos. En los trópicos más cálidos, la presión disminuye más gradualmente que en las zonas polares más frías y densas. Por ello sobre los trópicos se tienen presiones más altas que en los polos, por lo que estos vientos se dirigen a las zonas de baja presión subpolares, llegando del mar a las costas, y contribuyendo al aumento de la humedad.
- **Vientos polares:** vientos fríos y secos que soplan desde zonas de alta presión de alturas polares en dirección al ecuador.

Los vientos regionales, también llamados periódicos o estacionales, son aquellos que varían su dirección e intensidad durante un periodo de tiempo determinado, normalmente coincidiendo con las estaciones del año. Los más destacados son los monzones, las brisas marinas y las brisas de valle y de montaña.

- **Monzones:** vientos que soplan en algunos mares, particularmente en el océano Índico, cambiando su dirección según la estación del año: En verano el continente asiático se encuentra más caliente que el océano, por lo que estos vientos se mueven del mar a la tierra, provocando precipitaciones muy intensas. En cambio, en invierno sucede lo contrario, los vientos se dirigen del continente al océano, ya que éste se encuentra más caliente que la tierra, llevando cielos despejados y aire seco.
- **Brisas marinas o terrestres:** se localizan en las costas y se originan por la variación de temperatura entre el mar y la tierra durante el día y la noche. Durante el día la temperatura es mayor en la tierra, lo que provoca el ascenso del aire caliente, rápidamente compensado con la entrada de aire frío procedente del mar. Al anochecer hay un espacio de tiempo en que las temperaturas se igualan, motivando un estado de calma, y por la noche el proceso se invierte, ya que la temperatura marina es mayor a la terrestre, por lo que el viento se mueve en sentido contrario, es decir, del mar a la tierra.
- **Brisas de valle y de montaña:** varían su dirección dependiendo del momento del día, como las anteriores, a causa de las diferencias de temperatura entre el valle y la montaña. Durante el día las temperaturas de las laderas de la montaña, las cuales están expuestas a los rayos solares, es mayor que la temperatura de la valle, por lo que el viento de las montañas asciende, propiciando la entrada del aire frío del valle. En cambio, durante la noche, las laderas ya no son calentadas por el sol, por lo que el aire desciende por el enfriamiento hacia el fondo del valle, levantando el aire cálido acumulado en éste.

Por último, los vientos irregulares se caracterizan por ser variables, formándose en regiones con centros transitorios de presión, soplando de zonas de baja presión a zonas de alta presión. Entre estos se pueden destacar los ciclones, tornados y trombas.

- **Ciclones:** designan áreas del planeta en las cuales la presión atmosférica es baja, la cual genera vientos al atraer las masas de aire atmosférico desde las zonas de alta presión. Estos vientos pueden moverse a una velocidad cercana a los 300 Km/h.
- **Tornados:** vientos muy violentos y devastadores, provocados por situarse en centros de baja presión, en los cuales el viento sopla hacia el interior y asciende a gran velocidad, formando una especie de “nube embudo”, donde su extremo inferior está en contacto con la superficie terrestre y su extremo superior con las llamadas nubes *cumulonimbus* o *cúmulus*. Suelen producirse durante la primavera y el verano en costas australianas y americanas.
- **Trombas o Mangas de agua:** columnas de agua que se elevan desde mar, de apariencia similar a los tornados, ya sean formados sobre el agua o formados en tierra y que pasan al medio acuoso.

A partir de la descripción y la evaluación de las tipologías de vientos anteriores, se ha creado la Tabla C.6 con el fin de relacionar el tipo de viento con un nivel de regularidad.

Tipo de viento	Grado de regularidad
Constantes	Alto
Periódicos	Medio
Irregulares	Bajo

Tabla C.6 Grado de regularidad del viento

Para realizar este estudio, también se tendrá en cuenta la duración del viento y su intensidad, de tal modo que se distinguirán tres tipos de viento. Las ráfagas, hacen referencia a duraciones cortas e intensidades bajas. Las turbonadas a duraciones medias, pero con intensidades elevadas. Y por último, los vientos temporales, de larga duración y con fuerzas medias. En la Tabla C.7 relacionamos los efectos según el tipo de viento predominante.

Tipo de viento	Grado de duración
Temporal	Alto
Turbonada	Medio
Ráfaga	Bajo

Tabla C.7 Grado de duración del viento

### Dirección e intensidad

El viento suele moverse de zonas de alta presión hacia zonas de baja presión, provocando recorridos no rectilíneos, sino más bien en forma de “S”. Además, como señala [García \(1983\)](#), la

dirección del viento también se ve perturbada por las rugosidades del terreno y las características geográficas del lugar. Por ello, para analizar la dirección del viento se tendrán en cuenta cuatro niveles geográficos:

- *A escala nacional*: se determinan las variaciones que sufren los vientos atmosféricos según las características orográficas generales del país.
- *A escala regional*: se estudia la influencia de las diferenciaciones geográficas de la región o comarca sobre el viento nacional.
- *A escala local*: se establecen las modificaciones a las que está expuesta el viento regional fruto de las condiciones locales.
- *A escala del edificio*: se identifican las variaciones en la dirección que provocan las características de cada edificio sobre los vientos locales.

Para estudiar el porcentaje de tiempo durante el cual el viento regional y local sopla en una dirección concreta se usa un diagrama polar llamado rosa de los vientos, la cual permite interpretar la dirección de los vientos dominantes, además de determinar la frecuencia e intensidad de los vientos para cada tipo de orientación.

La rosa de los vientos consta de ocho direcciones (N-NE-E-SE-S-SO-O-NO) y cuyas equivalencias en grados sexagesimales son:

- *Viento del norte* o *tramontana* (N): de 337.5° a 22.5°
- *Viento del noreste* o *gregal* (NE): de 22.5° a 67.5°
- *Viento del este* o *levante* (E): de 67.5° a 112.5°
- *Viento del sureste* o *Siroco* (SE): de 112.5° a 157.5°
- *Viento del sur* o *mediodía* (S): de 157.5° a 202.5°
- *Viento del suroeste*, *lebeche* o *garbino* (SO): de 202.5° a 247.5°
- *Viento del oeste* o *poniente* (O): de 247.5° a 292.5°
- *Viento del noroeste* o *mistral* (NO): de 292.5° a 337.5°

Hay otros factores que influyen en la intensidad del viento como la rugosidad del medio, la velocidad media a una altura concreta y/o las posibilidades de turbulencias que se puedan generar tras el impacto con un edificio o elemento del entorno.

Los estudios de [García \(1983\)](#) sobre la variación de la velocidad del viento declaran que la velocidad media del viento aumenta a medida que aumenta la altura, a la vez que disminuyen las turbulencias, siempre hasta una altura determinada en la que la turbulencia pasa a ser nula y la velocidad media queda constante. Además, estos estudios manifiestan que la intensidad del viento se ve afectada por la rugosidad del terreno. Asimismo, los continuos obstáculos y perfiles

de los edificios hacen frenar la masa de viento. Por lo tanto, se establece que la velocidad para una misma altura será más elevada en zonas poco densas e inferiores en zonas menos densas.

Las Figuras C.9 y C.10 ilustran la variación de la velocidad del viento en función de la altura y de la orografía, considerando que la rugosidad en el primer caso es alta, media en el segundo y baja en el último.

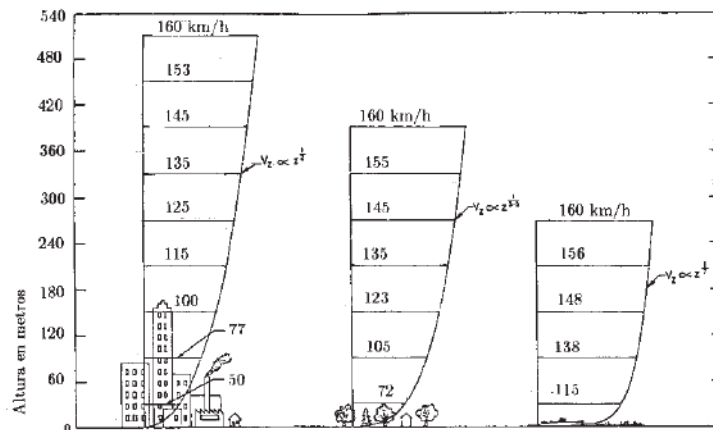


Figura C.9 Variación de la velocidad del viento con la altura (García, 1983)

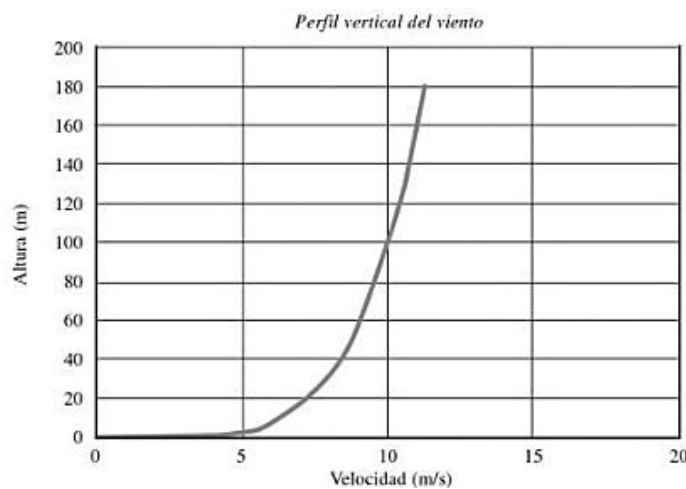


Figura C.10 Evolución de la velocidad del viento con la altura (Talayero y Telmo, 2008)

La intensidad del aire también se puede medir mediante la escala de Beaufort de la fuerza de los Vientos (establecida por el propio Beaufort alrededor del año 1805), basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Esta escala asigna números del 0 al 12 según la velocidad del viento. Se considera 0 a un viento en calma y 12 a temporales huracanados.

Por otra parte, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) define seis categorías de intensidad del viento en función de su velocidad:

- **Calma**: velocidad media menor o igual a 5 km/h
- **Flojos**: velocidad media entre 6 y 20 km/h
- **Moderados**: velocidad media entre 21 y 40 km/h
- **Fuertes**: velocidad media entre 41 y 70 km/h
- **Muy fuertes**: velocidad media entre 71 y 120 km/h
- **Huracanados**: velocidad media mayor que 120 km/h

Como se hizo en el apartado de temperaturas, se ha estudiado y clasificado los datos proporcionados por el SMC referente a la intensidad del viento en las tres mismas comarcas catalanas (Barcelonès, Segrià y Gironès). La Tabla C.8 recoge la velocidad media de las rachas máximas anuales y la velocidad media anual para dichas comarcas entre los años 2001 y 2012<sup>3</sup> (con excepción de los años 2004-2006 dado que durante ese período no se editaron tablas con información meteorológica).

	Viento (m/s)									Media
	2001	2002	2003	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
<b>Comarca del Barcelonès</b>										
Racha máxima (m/s)	11	12	12	10	9	9	9	9	9	10
Velocidad media (m/s)	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3
<b>Comarca del Segrià</b>										
Racha máxima (m/s)	11	10	11	8	7	8	7	7	8	9
Velocidad media (m/s)	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1
<b>Comarca del Gironès</b>										
Racha máxima (m/s)	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7
Velocidad media (m/s)	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Tabla C.8 Variación de las velocidades del viento por comarcas

En la Tabla C.9 muestra la velocidad media de las rachas máximas y la velocidad media (en kilómetros/hora) para el período de tiempo estudiado de las tres comarcas catalanas.

<sup>11</sup><http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/anuaris-de-dades-meteorologiques/xarxa-destacions-meteorologiques-automatiques/>

Velocidades medias del viento	
Racha máxima (Km/h)	32,4
Velocidad media (Km/h)	7,2

Tabla C.9 Velocidades medias del viento de las comarcas analizadas

Teniendo en cuenta la clasificación de la intensidad del viento establecida por la AEMET, la escala de Beaufort y los resultados recogidos en la Tabla C.9, se establecen tres grados de intensidad del viento en función de la velocidad del mismo. En la Tabla C.10 se detallan los valores propuestos.

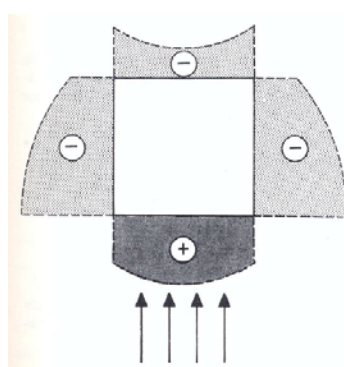
Velocidad del viento	Grado de intensidad
> 40 km/h	Alto
6 - 40 km/h	Medio
≤ 5 km/h	Bajo

Tabla C.10 Grado de intensidad del viento

### Efectos del viento

Según [García \(1983\)](#) la geometría y la disposición de los edificios generan diferentes efectos sobre estos, haciendo incrementar o disminuir la velocidad del viento. Estos efectos pueden ser motivados por la composición de los edificios como por su situación en el territorio. Se distinguen los siguientes:

- **Efecto aerodinámico:** ocurre cuando el viento golpea sobre un edificio y genera diferencias de presiones en sus distintas caras, dependiendo de la dirección del viento y la geometría y volumen de la edificación.



viento dominante

Figura C.11 Diferencia de presión atmosférica ([García, 1983](#))

Estableciendo el parámetro  $\varphi$ , que relaciona las características del viento con la construcción y sin ella, el efecto aerodinámico se puede cuantificar a partir de la expresión siguiente:

$$\varphi = \frac{Vm + T}{Vm' + T'}$$

donde:

$Vm$  Velocidad media del viento con la construcción

$Vm'$  Velocidad media del viento sin la construcción

$T$  Turbulencia con la construcción

$T'$  Turbulencia sin la construcción

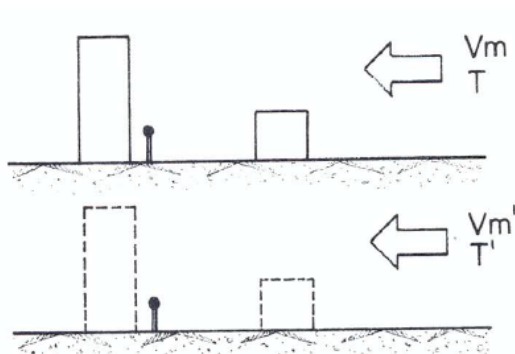


Figura C.12 Parámetros del viento (García, 1983)

Si  $\varphi > 1$  nos indica que el edificio tiene un efecto perturbador, por lo que la velocidad del viento aumenta, en cambio, cuando  $\varphi < 1$  determina que el edificio tiene un carácter protector, y hace que la velocidad del viento disminuya. En el caso particular  $\varphi = 1$ , indica que las características de la edificación no afectan al comportamiento del viento.

- **Efecto de abertura:** sucede en edificios o conjuntos de edificaciones que contienen aberturas, los cuales dejan pasar las corrientes de viento, aumentando su velocidad al generarse una sobrepresión en las caras expuestas al mismo, y una depresión en las caras contrarias. Este efecto aumenta en función de la altura del edificio, a mayor altura mayor será el efecto, y en cuanto más perpendicular sea la dirección del viento sobre la fachada.

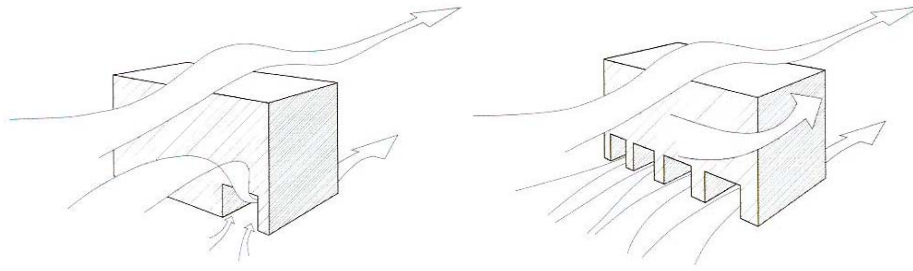


Figura C.13 Efecto de abertura (Granados, 2006)

- **Efecto de esquina:** se produce por el flujo del viento de una zona de alta presión en la fachada del edificio en la cual choca el viento hacia la zona de baja presión perpendicular a la anterior. Las turbulencias creadas por este efecto dependen del alto y el ancho del edificio, a mayor altura y anchura, más intenso será el efecto. Además, si la distancia entre dos edificios es menor a la anchura de los mismos y estos tienen elevada altura (unos 90 m), se producirá un efecto esquina muy intenso en el espacio situado entre ellos.

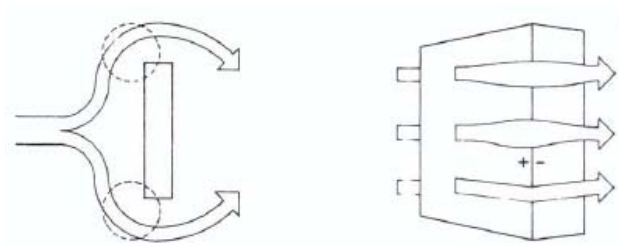


Figura C.14 Efecto de esquina (García, 1983)

- **Efecto de rebufo:** se crea por las diferencias de presión entre las caras del edificio, produciéndose un torbellino detrás del mismo. Dicho efecto se origina independientemente de la altura del edificio.

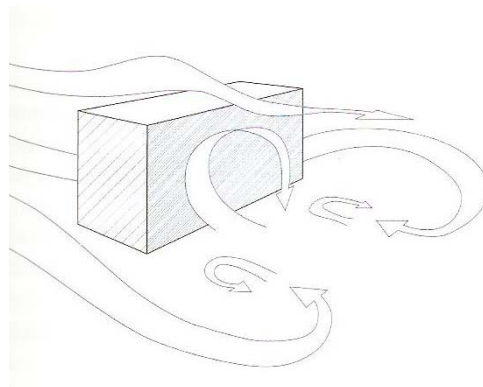


Figura C.15 Efecto de rebufo (Granados, 2006)



- **Efecto de rodillo:** se genera en la base de la fachada del edificio expuesta al viento, creando un remolino de eje horizontal. Este efecto se refuerza si existe una edificación de baja altura próxima en la parte delantera.

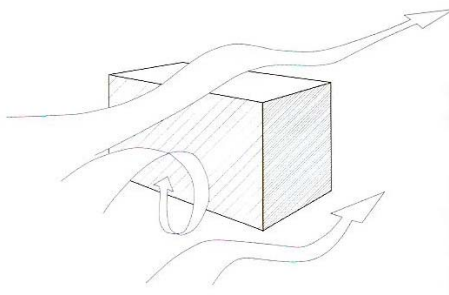


Figura C.16 Efecto de rodillo (Granados, 2006)

- **Efecto Venturi:** suele aparecer entre dos edificios de al menos cinco pisos de altura y que, en conjunto, tengan una longitud de 100 m, situados en ángulo y a una estrecha distancia en ellos (no mayor a dos o tres veces la altura del edificio en cuestión), los cuales canalizan el viento a través de la abertura, generando velocidades de viento intensas.

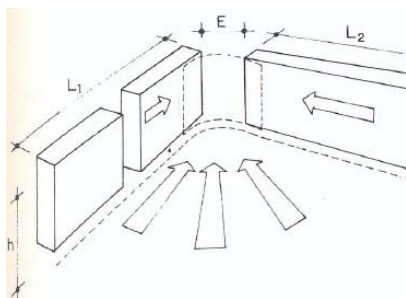


Figura C.17 Efecto Venturi (García, 1983)

Realizando un análisis de los datos anteriores sobre los efectos del viento en las edificaciones, elaborados por García (1983), se ha definido la relación entre los movimientos del aire y el grado de impacto respectivo que se genera sobre las fachadas. En la Tabla C.11 a raíz del tipo de viento se definen sus grados de impacto potenciales.

Efectos	Grado de impacto
Dominante	Alto
Lateral	Medio
Rebufo	Bajo

Tabla C.11 Efectos del viento y nivel de impacto

### C.3 Lluvia conducida

Otro factor que influye en la durabilidad de los materiales de las fachadas, y en consecuencia, a la vida útil de estas, son las precipitaciones. La precipitación es agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida, se deposita sobre la superficie de la tierra. Se genera cuando las nubes adquieren un punto de saturación, en el cual las gotas de agua aumentan de tamaño y se precipitan por la fuerza de la gravedad.

Existe una gran variedad de precipitaciones, las cuales destacarían; la lluvia, llovizna, aguacero, chubasco, nieve, granizo y tormenta eléctrica. Sin embargo, también hay que destacar otros fenómenos atmosféricos como el rocío y la neblina, que son formas de condensación y no de precipitación, pero que influyen de igual modo en la durabilidad de los edificios.

#### Clases de precipitaciones

Se pueden distinguir distintas tipologías de precipitaciones según su duración, intensidad y regularidad. Sin embargo, se detallarán aquellas que tengan mayor repercusión sobre el medio urbano, y en particular, a la arquitectónica de cualquier zona geográfica.

El término general de precipitación suele emplearse a cualquier fenómeno meteorológico acuoso, siendo el más nombrado el de lluvia. La lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua de diámetro mayor a 0,5 mm (o de gotas menores, pero más dispersas), de intensidad débil o moderada y que alcanzan la superficie terrestre. Si estas partículas son menores a 0,5 mm se habla de llovizna, las cuales dan la sensación de flotar en vez de caer, y su intensidad es más débil que las anteriores. En cambio, los aguaceros o chaparrones se caracterizan por ser una "lluvia" intensa, repentina y de corta duración. Si además está acompañada de fuertes ráfagas de viento se habla de chubascos.

La nieve es vapor de agua que experimenta una transformación en la atmósfera a una temperatura menor a 0° convirtiéndose en agua helada, la cual se desprende de las nubes en pequeños cristales de hielo que se van agrupando creando copos. El granizo, en cambio, es agua helada que desciende con violencia de las nubes en forma de granos, más o menos duros y gruesos, pero no en copos como la nieve.

Las tormentas eléctricas por lo general están acompañadas por vientos fuertes, y a veces, por nieve o granizo, sin embargo pueden estar acompañadas, o no, por lluvias, aunque si lo están, éstas suelen ser bastante intensas. Además, se caracterizan por presentar rayos y truenos, y su desplazamiento suele seguir la dirección del viento.

Como se ha comentado anteriormente, existen otros fenómenos atmosféricos que no son precipitaciones, sino condensaciones, como son el rocío o la neblina, y que también se tendrán en cuenta en este estudio. El rocío es la humedad del aire condensada sobre una superficie en forma de gotas, debido a la disminución brusca de la temperatura. Suele formarse en noches frías

y despejadas. La neblina, por otra parte, consiste en la suspensión de muy pequeñas gotas de agua, que reducen la visibilidad horizontal. Según la intensidad de sus partículas y su color se refiere a neblina o niebla. Si se permite la visibilidad a una distancia mayor a 1 km y su color es grisáceo o azulino, se trata de neblina, en cambio, si su intensidad da una visión inferior a 1 km y toma una tonalidad blanquecina, entonces se habla de niebla.

Expuestas las tipologías de precipitaciones y condensaciones más habituales, se ha seleccionado la lluvia como fenómeno más relevante para utilizar en este estudio, dado su gran variabilidad en cuanto a su intensidad, duración y regularidad, lo que permitirá conseguir una elevada cantidad de datos para analizar su repercusión en la durabilidad de los paramentos.

### Intensidad de la lluvia

Una de las características más importantes de la lluvia, y que se analizara en esta investigación, es su intensidad, dado que nos facilita la cantidad total de agua que cae por unidad de tiempo en una zona determinada, y las probabilidades de inundaciones en dicha región. La intensidad de la lluvia suele variar según la estación del año y la situación geográfica de la zona de estudio, siendo aquellas con altas humedades las más afectadas.

La frecuencia de la precipitación se define por el número de días en que cae una determinada cantidad de lluvia, siendo este lindar de mínimo 1 mm durante 24 horas. Para cuantificar la intensidad de la lluvia se relaciona la profundidad de agua caída y el período de tiempo en el cual ha estado cayendo.

$$I = \frac{P}{D}$$

donde:

*D* Duración de la lluvia (h)

*I* Intensidad de la precipitación (mm/h)

*P* Profundidad de lluvia (mm)

Extraídas las tablas del SMC, se analizaron y clasificaron los datos referentes a las precipitaciones de tres comarcas catalanas (Barcelonès, Gironès y Sagrià), para poder determinar los valores estándares de intensidad en dichas regiones y poderlos comparar con la información extraída de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). En la Tabla C.12 se muestra la intensidad de la precipitación anual en 24 horas entre los años 2001 al 2012<sup>4</sup> (sin incluir los datos referentes del 2004 al 2006, dado que no se editaron tablas con la información meteorológica).

---

<sup>4</sup><http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/serveis-i-dades-climatiques/anuaris-de-dades-meteorologiques/xarxa-destacions-meteorologiques-automatiques/>

	Precipitaciones (mm)									Total
	2001	2002	2003	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Comarca del Barcelonès	60	153	46	51	52	66	61	81	67	3
Comarca del Segrià	60	153	46	51	52	66	61	81	67	3
Comarca del Gironès	69	91	68	40	59	34	59	24	54	3

Tabla C.12 Variación de las precipitaciones

La Tabla C.13 recoge la clasificación de intensidades de lluvia que establece la AEMET en función de la cantidad de agua caída en una hora.

Clases	Intensidad media en una hora (mm/h)
Débiles	$\leq 2$
Moderadas	$> 2$ y $\leq 15$
Fuertes	$> 15$ y $\leq 30$
Muy fuertes	$> 30$ y $\leq 60$
Torrenciales	$> 60$

Tabla C.13 Clasificación de la precipitación según la intensidad

Analizados los paralelismos anteriores, se establece la Tabla C.14 adecuando los intervalos de intensidad de lluvia en grados de intensidad e impacto.

Precipitaciones (mm/h)	Grado de intensidad
$> 31$ y $> 60$	Alto
$> 3$ y $\leq 30$	Medio
$\leq 2$	Bajo

Tabla C.14 Grado de intensidad de la lluvia

### Duración y regularidad

Las precipitaciones también se pueden clasificar en función del índice de regularidad de la intensidad ( $n$ ), el cual mide la relación entre la intensidad y la regularidad de una precipitación dada, tanto en el ámbito de la meteorología como en el de la climatología, conocido como la curva de Intensidad Media Máxima (IMM). El índice  $n$  es adimensional y su valor oscila entre 0 y 1. Dependiendo de su valor se podrá clasificar e interpretar la intensidad de la precipitación en cualquier zona dada. La Tabla C.15 indica la variabilidad de la intensidad y la interpretación de la precipitación dados cinco intervalos de igual longitud del valor  $n$ .

n	Variabilidad de la intensidad	Interpretación del tipo de precipitación
0,00 - 0,20	Prácticamente constante	Muy predominante estacionaria
0,20 - 0,40	Débilmente variable	Predominante estacionaria
0,40 - 0,60	Variable	Efectiva
0,60 - 0,80	Moderadamente variable	Predominante convectiva
0,80 - 1,00	Fuertemente variable	Muy predominante convectiva

Tabla C.15 Clasificación de la precipitación según la regularidad (Monjo i Agut, 2008)

Para seguir con la línea de este trabajo, a partir de la información anterior, la Tabla C.16 muestra tres grados de frecuencia de las precipitaciones en función del índice  $n$ .

Índice n	Grado de regularidad
0,0 - 0,2	Alto
0,4 - 0,6	Medio
0,8 - 1	Bajo

Tabla C.16 Grado de regularidad de la lluvia

La lluvia también se puede identificar en función de su duración, en muchos casos un factor más importante que su intensidad, puesto que éste fenómeno meteorológico puede producir en una fachada mayores niveles de patologías en sus paramentos por saturación y fuertes escorrentías.

Normalmente, las estaciones meteorológicas no calculan la duración de las precipitaciones, sino que se centran en la cantidad de días que ha tenido lugar una precipitación. Sin embargo, las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) hacen referencia a la duración de las precipitaciones, considerando entre 1 y 24 horas como máximo. En dichas curvas también se considera la intensidad, frecuencia y la probabilidad de precipitación.

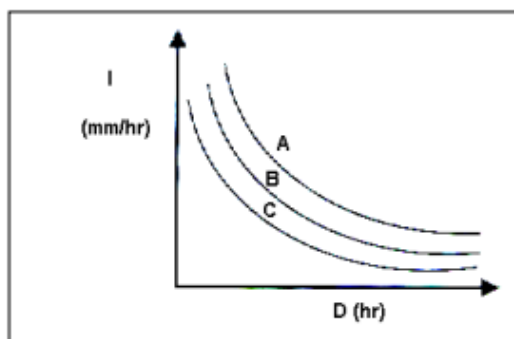


Figura 1. Curvas IDF

Figura C.18 Curvas IDF (Muñoz y Ritter, 2005)

A partir de las curvas IDF se ha elaborado la Tabla C.17 en la cual se establece el grado de duración en función a la duración (en horas) de la misma.

Horas	Grado de duración
> 20	Alto
> 5 y $\leq$ 19	Medio
$\leq$ 4	Bajo

Tabla C.17 Grado de duración de la lluvia

### Lluvia batiente

Vallejo (1990) señala que la cantidad de agua de lluvia que logra alcanzar la superficie de una fachada es menos de la mitad de la teórica que atraviesa una sección de aire de similar tamaño y posición, determinando que más de la mitad del agua se pierde fuera de su alcance, debido a la intensidad del viento en su intento de rebasar el edificio. Además, cuando la precipitación se topa con una fachada de grandes extensiones y con un viento ortogonal, la cantidad de lluvia batiente sobre el paramento será inferior.

Generalmente, la lluvia batiente se caracteriza por golpear gran parte de la zona superior de la fachada, así como los extremos de la misma, en caso de que el edificio no tenga ninguna construcción a su alrededor. Esto sucede con bastante independencia de la intensidad de la lluvia, dado que la parte superior siempre será la primera en mojarse. En la Figura C.19 puede verse el comportamiento gráfico del fenómeno.

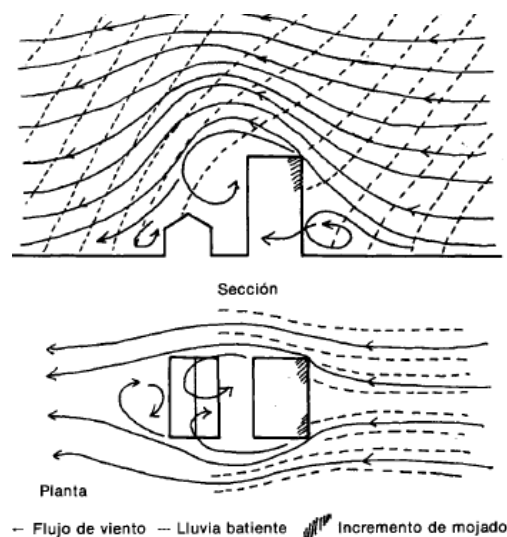


Figura C.19 Actuación del par viento / lluvia sobre los edificios (Vallejo, 1990)

En las zonas inferiores de las fachadas las trayectorias de la lluvia son casi paralelas, es decir, verticales, lo que complica el lavado de los paños verticales por el agua de la lluvia batiente. Además, la lluvia, impulsada por el viento, es afectada cuando encuentra zonas de viento de diferente velocidad o dirección, tropezando con pequeños obstáculos y elementos salientes de la fachada, lo cual dificulta su adaptación a la nueva situación y es abocada a chocar con ellos y realizar así un buen lavado. En una situación favorable, si encuentra un obstáculo del rango de un edificio, tendrá más tiempo de desviarse acompañando las trayectorias del viento, si bien difícilmente alcanza desviaciones superiores a 2 metros en vertical y 4 en horizontal pudiendo pues rebasar mejor dichas fachadas.

### **Lluvia escurrida**

Una parte de la lluvia batiente que accede a las fachadas durante la lluvia rebota hacia el exterior y otra queda atrapada en la superficie, la cual es succionada por capilaridad y absorbida por la superficie. Cuando el material se satura, el agua comienza a deslizarse por la superficie de la fachada, denominando a este fenómeno lluvia escurrida.

La lluvia que escurre por la fachada lo hace en forma de fina lámina o película y a baja velocidad, siendo en su trayectoria absorbida por el material de revestimiento del paramento y su capa de suciedad. Según las condiciones de la superficie afectada y del agua escurrida, el lavado puede ser sucio o limpio, debido a que una porción de partículas de suciedad existentes en la fachada o aportadas por la misma lluvia penetran en los poros de la fachada, siendo una parte adheridas y el resto arrastradas por las escorrentías.

Las escorrentías son los caminos preferentes originados por el agua deslizante, la cual produce una ligera erosión fisicoquímica sobre el material. Estas escorrentías suelen separarse en flujos, creados sobre trayectorias preferentes por causa de los obstáculos y de las rugosidades del paramento. Si el lavado es sucio, se producen unas marcas con formas características fácilmente predecibles.

La composición general de la fachada, así como la forma, tamaño y disposición de los planos de fábrica y acristalamiento, resultan vitales para predecir el resultado de las acciones de ensuciamiento y lavado que ocurren en ella.

No obstante, la característica más relevante es la inclinación de los planos: Si la inclinación es con la horizontal, la cantidad de partículas depositadas será mayor que si la inclinación es con la vertical, ya que en este caso las gotas se verán obligadas a descender por la acción gravitatoria. Pero, además, estos planos inclinados no se hayan solos, sino que van seguidos y/o precedidos con otros con los cuales forman ángulos o constituyen formas curvas, afectando al tipo de lavado y a la formación aislada de suciedad.

La Figura C.20 muestra el desplazamiento del agua según la inclinación de los planos.

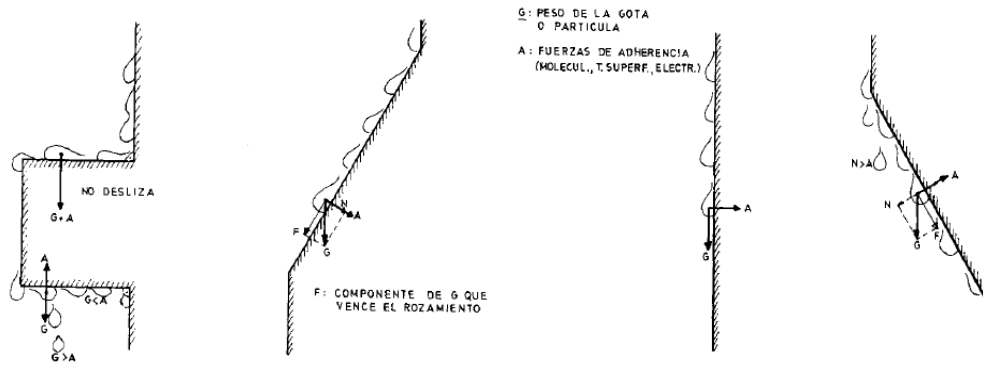


Figura C.20 Desplazamiento del agua escurrida según la inclinación de los planos (Vallejo, 1990)

### Efecto de la absorción

Según el tamaño de la gota de agua de la lluvia, y teniendo en cuenta el material de revestimiento de la fachada, la acción de gravedad y la intensidad del viento, se podrá determinar el efecto de la absorción de la lluvia sobre la fachada. Dependiendo de los factores anteriores, se pueden diferenciar tres reacciones del material:

- Cuando la gota de agua sea fina e impacte contra el material a gran velocidad podrá penetrar dentro de éste por presión, siempre y cuando la abertura de los poros sea mayor a 1 mm. Este hecho ocurre en pocas ocasiones, ya que la mayoría de gotas de lluvia suelen ser medias y gruesas.
- Cuando las gotas sean gruesas e impacten a gran velocidad sobre el paramento, éstas rebotarán y caerán fuera del alcance del mismo. Esto sucederá en las zonas superiores y laterales de los edificios de elevada altura, y cuando el ángulo de la lluvia sea perpendicular a la superficie.
- Cuando la cantidad de gotas de lluvia sea elevada, su velocidad de caída sea lenta y exista una leve inclinación respecto a la fachada, éstas serán absorbidas o adheridas por el material con gran facilidad.

La duración de absorción depende del material, el tamaño de la gota de agua y el tiempo de impacto de ésta sobre el paramento. La Tabla C.18 indica la duración de la absorción de algunos de los materiales más usados en la construcción.



Material	Duración de la absorción (en segundos)
Hormigón: superficie de recubrimiento vibrado	90
Hormigón: superficie de una zona de rotura	14
Enfoscado de mortero de cemento	2 a 5
Ladrillo caravista	11
Ladrillo moldeado manualmente	2
Ladrillo esmaltado	1.737
Ladrillo impregnado con silicona diluida	> 3.600
Ladrillo sílico-calcáreo	6 a 8
Pintura en dispersión de 300 $\mu\text{m}$ sobre enfoscado	302
Pintura mineral sobre enfoscado	6
Pintura a la silicona de 40 $\mu\text{m}$ sobre hormigón	> 3.600

Tabla C.18 Duración de la absorción (Vallejo, 1993)

#### C.4 Contaminación atmosférica

Generalmente, se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en la atmósfera de partículas de materias o formas de energía que impliquen riesgos, daños o molestias graves para las personas o el medio ambiente. La contaminación atmosférica puede tener carácter local o global.

La contaminación atmosférica de efecto local o regional es aquella cuyos efectos ligados al foco de emisión afectan sólo a las inmediaciones del mismo. Existen dos tipos de contaminantes que producen esta contaminación: los contaminantes primarios, caracterizados por ser introducidos en la atmósfera directamente a raíz de los fenómenos que los causan; y los contaminantes secundarios, formados mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Estos contaminantes pueden tener varios efectos, de los cuales los principales son la incidencia en la salud de la población, los perjuicios a la vegetación y ecosistemas, los daños a materiales, y la reducción de visibilidad. Algunos de éstos son los siguientes:

- **Material particulado (MP)** o partículas en suspensión: mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas que varían en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisión. Cuando es proveniente de la combustión puede emitirse directamente en forma de carbono elemental y orgánico, o bien formarse en la atmósfera a partir de otros contaminantes. Las partículas más finas se denominan de acuerdo con su tamaño; por ejemplo,  $\text{PM}_{10}$  designa a todas las partículas con diámetro inferior a 10 micrones, y  $\text{PM}_{2,5}$ , las inferiores a 2,5 micrones.
- **Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )**: gas incoloro, no inflamable, de fuerte olor e irritante, derivado de la combustión de minerales que contienen azufre, principalmente diésel.
- **Monóxido de carbono (CO)**: gas inodoro, incoloro y altamente tóxico, provocando incluso la muerte. Se produce, principalmente, por la quema, entre otros, de gas, gasolina,

querosén, carbón, petróleo o madera, o bien, por una mala combustión de chimeneas, calderas, calentadores de agua o aparatos domésticos. La mayoría de este CO existente en la atmósfera se genera de manera natural y se elimina por su propia oxidación, convirtiéndose en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

- **Ozono (O<sub>3</sub>):** gas de olor áspero y picante y normalmente incoloro, aunque en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Es el principal contaminante atmosférico que forma el llamado *smog* fotoquímico, producido en la atmósfera por reacciones químicas en presencia de radiación ultravioleta.
- **Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>):** gas de color marrón-amarillento, de fuerte olor desagradable. Se origina como subproducto en la combustión a altas temperaturas, como en los vehículos motorizados y en las plantas eléctricas. No absorbe la luz en el rango visible, lo que produce la disminución de la visibilidad. Es otro contaminante que participa en la cadena de reacciones que conducen a la formación de *smog* fotoquímico.

Por último, muchos materiales pesados pueden encontrarse en la atmósfera, siendo el plomo, posiblemente, el más común, debido a su uso como aditivo en las gasolinas normales.

La contaminación de efecto global o planetario es aquella producida por contaminantes cuyas características afectan a zonas alejadas al foco de emisión, perturbando, incluso, el equilibrio del planeta. Tienen una larga vida y se distribuyen por toda la atmósfera, atrapando a la radiación infrarroja y generando un calentamiento excesivo en el medio urbano, y por consiguiente, el desgaste de los materiales de las fachadas. Estos contaminantes son los llamados gases de efecto invernadero (GEI), de los cuales, los más importantes son los que siguen:

- **Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O):** gas incoloro de olor dulce y ligeramente tóxico. No es inflamable ni explosivo, aunque en combinación con otras sustancias puede serlo. Proviene de procesos microbiológicos en el suelo y en los océanos, así como de actividades agrícolas y ganaderas. Tiene una permanencia media en la troposfera de 170 años, y va desapareciendo en la estratosfera a partir de reacciones fotoquímicas que atacan y, por consiguiente, destruyen la capa de ozono.
- **Metano (CH<sub>4</sub>):** contaminante primario más abundante de los hidrocarburos atmosféricos, es incoloro, inodoro y, fácilmente inflamable y explosivo cuando se mezcla con aire. Se origina por la descomposición de residuos orgánicos por bacterias, o en zonas húmedas como pantanos, de la extracción de materiales fósiles (fuente de producción de gas natural), por los procesos de digestión y defecación del ganado o por la putrefacción anaeróbica de las plantas (proceso que se aprovecha para producir biogás). Suele tener una vida media de entre 5 y 10 años, y, al igual que el gas anterior, produce el efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global de la Tierra.
- **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** contaminante con la mayor cantidad de emisión a la atmósfera por causas no naturales. Proviene de la combustión incompleta de la gasolina y del gasoil

en los motores de los vehículos, de actividades industriales, domésticas o comerciales y de plantas eléctricas.

La Tabla C.19 muestra los índices de emisión de los contaminantes anteriormente expuestos en la ciudad de Barcelona entre los años 2004 y 2012, extraídos de la Agència de Salut Pública<sup>5</sup> y de la Autoritat del Transport Metropolità<sup>6</sup>.

Los datos evidencian que el principal contaminante atmosférico en la ciudad de Barcelona es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), aunque su concentración depende de los horarios de actividades, intensidad del tráfico, la proporción de vehículos pesados o diésel y las condiciones de ventilación de los espacios urbanos.

Contaminante	Valor límite	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
NO <sub>2</sub>	40 µg/m <sup>3</sup>	52	50	48	46	44	42	40	40	40
PM <sub>10</sub>	40 µg/m <sup>3</sup>	41,6	40	40	40	40	40	33	35	33
CO	40 mg/m <sup>3</sup>	12	10	5	7	5	5	7	5	5
SO <sub>2</sub>	125 µg/m <sup>3</sup>	380	350	300	150	80	95	40	30	18
O <sub>3</sub>	180 µg/m <sup>3</sup>	175	155	135	150	115	150	160	140	145
CO <sub>2</sub>	20.000 t	14.500	14.800	15.500	16.000	15.000	14.300	13.500	13.000	-

Tabla C.19 Evolución anual de las emisiones atmosféricas en Barcelona

### Fuentes de contaminación

La contaminación atmosférica generada por el proceso de la energía, actividades industriales y de construcción, el transporte o por otras acciones o fenómenos, además de afectar a la salud de las personas, también lo hace a gran parte de las edificaciones. Las fachadas de los edificios se ven sometidas a diversas fuentes de contaminación artificial y natural, ya que la masa de aire que les llega no siempre está libre de partículas contaminantes, debido a que el aire limpio que contiene la atmósfera es arrastrado por el viento dominante procedente de las montañas o del mar, topando con focos de emisión o concentraciones de aire contaminado localizados fuera o dentro del núcleo urbano, mezclándose ambos, pasando, el aire, a contener sustancias que aumentan el deterioro de las fachadas.

Las fuentes contaminantes pueden ser de origen natural, artificiales puntuales o artificiales difusas.

<sup>5</sup><http://www.aspb.cat/quefem/documents.aspx?tipus=17>

<sup>6</sup>[http://mediambient.gencat.cat/ca/05\\_ambits\\_dactuacio/atmosfera/qualitat\\_de\\_laire/avaluacio/avaluacio\\_qualitat\\_aire\\_catalunya\\_altres/balancos/](http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_laire/avaluacio/avaluacio_qualitat_aire_catalunya_altres/balancos/)

Las principales fuentes naturales de contaminación atmosférica son tres; los volcanes, los cuales, al erupcionar, emiten a la atmósfera una gran cantidad de sustancias contaminantes, como dióxido de carbono, azufre y otros ácidos, que se mezclan con el aire limpio y, por lo tanto, contaminándolo. Otra fuente es la contaminación por actividad biológica, durante los procesos de degradación de la materia orgánica se generan gases como el nitrógeno, amoníaco o metano, que puede contaminar el aire. Los incendios de origen natural, como los producidos por rayos, puede también producir contaminación, ya que durante este proceso se emiten partículas, gases y sustancias que se evaporan en la atmósfera.

Las fuentes artificiales puntuales de contaminación provienen, especialmente, de plantas de energía, industrias químicas, refinerías de petróleo, industrias manufactureras, de la extracción de materia prima de canteras, y de la construcción, las cuales, según su proceso emiten humos y vapores con varios contaminantes, como bióxido de carbono y material particulado.

Las fuentes artificiales difusas o móviles son, hoy en día, la principal causa de contaminación atmosférica en el medio urbano, siendo los transportes terrestres, tal como los automóviles y camiones, los más importantes, debido a la continua emisión de gases y partículas que quedan en suspensión en el aire, y por consiguiente, la fuente de contaminación que más afecta a las fachadas de los edificios.

Con los datos proporcionados por la Oficina Catalana del Canvi Climàtic sobre la emisión del dióxido de carbono en Cataluña mediante diferentes fuentes contaminantes entre los años 1990 y 2011, se elaboró la Tabla C.20 con el fin de determinar el sector que genera el mayor volumen de contaminación dentro de las ciudades.

Las tablas anteriores revelan que los transportes son la fuente de contaminación que emite más CO<sub>2</sub> seguidos, de cerca, por las industrias manufactureras y de la construcción. Además, el Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015 ([Generalitat de Catalunya, 2006](#)) recalca que la previsión de emisiones de CO<sub>2</sub> en Cataluña supone un incremento del 37% entre el año 2003 y el 2015.

La Figura C.21 muestra el porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub> de distintos sectores en el año 2003 en Cataluña. Los transportes generan aproximadamente el 50% de las emisiones de dióxido de carbono, seguidos por la industria que generan el 30%, a diferencia de otros sectores con emisiones inferiores al 10%, como el sector de servicios, los primarios o los domésticos.

1990	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Energético</b>																	
3.969	3.983	4.167	4.722	4.482	5.068	4.983	4.971	6.169	6.213	8.277	9.441	8.274	8.437	8.059	7.413	6.760	6.904
<b>Industrias manufactureras y de la construcción</b>																	
8.179	10.615	9.345	10.405	10.450	10.827	11.347	11.824	11.967	13.275	13.635	13.745	13.158	12.490	11.912	10.144	10.663	10.234
<b>Transporte</b>																	
10.292	11.880	12.107	11.682	12.591	12.998	13.319	13.619	12.485	14.216	14.535	14.813	15.542	16.099	15.010	14.290	13.524	12.941
<b>No energéticos</b>																	
4.924	7.370	7.767	7.983	7.790	9.090	9.614	7.135	5.105	5.936	5.730	5.861	5.853	5.861	4.822	4.151	4.245	3.942
<b>Agricultura y ganadería</b>																	
3.821	3.834	4.101	3.979	4.043	4.113	4.267	4.272	4.106	4.159	4.031	3.908	3.908	3.958	3.740	3.757	3.867	3.949
<b>Tratamiento y eliminación de residuos</b>																	
1.634	1.994	2.067	2.132	2.189	2.290	2.309	2.383	2.465	<b>2.346</b>	2.258	2.369	2.464	2.513	2.559	2.580	2.597	2.511

Tabla C.20 Evolución de emisiones (miles de toneladas CO<sub>2</sub> equivalente) por sectores en Cataluña. (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2013)

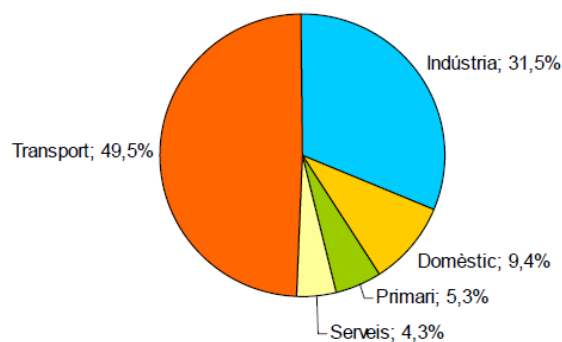


Figura C.21 Distribución de las emisiones de CO<sub>2</sub> por sectores en el año 2003 en Cataluña (Autoritat del Transport Metropolità, 2008)

### Tráfico vehicular

Dado que el sector del transporte es el que más incidencia tiene en cuanto a la contaminación atmosférica de las ciudades, debido al aumento de su uso, y por consiguiente, al aumento del consumo de combustibles fósiles, tales como la gasolina o el gasoil, merece una mención especial y su análisis.

La contaminación atmosférica producida por los transportes variará en función del tipo de vehículos que la originen, es decir, éstos generaran diferentes niveles de CO<sub>2</sub> dependiendo de su peso máximo autorizado o su capacidad de carga útil, o lo que es lo mismo, según si son ligeros o pesados.

Se consideran vehículos ligeros los vehículos automóviles libres con propulsión que están destinados al transporte de un máximo de 10 personas o especialmente acondicionados para el transporte de mercancías cuyo peso máximo autorizado no exceda de 6 toneladas, o que, aun sobrepasando dicho peso, tenga una capacidad de carga útil no superior a 3,5 toneladas. Formarían parte de este grupo los turismos, motocicletas y vehículos de transporte de mercaderías ligeras. Por otro lado, los vehículos pesados son aquellos vehículos automóviles destinados al transporte de un elevado número de personas o acondicionados especialmente para el transporte de mercancías cuyo peso máximo autorizado sea superior a 6 toneladas y cuya capacidad de carga exceda de 3,5 toneladas. En este grupo se encuentran los autobuses y vehículos de transporte de mercaderías pesadas, como los camiones, semitráilers o tráilers.

La Tabla C.21 muestra el volumen de vehículos ligeros y pesados que concurrían por la ciudad metropolitana de Barcelona el año 2004 y los estimados para el año 2012.

Parque de vehículos 2004			Parque de vehículos para el año 2012 tendencial		
Vehículos ligeros	Coches	2.001.100	Vehículos ligeros	Coches	2.161.700
	Mercaderías ligeras	234.600		Mercaderías ligeras	341.600
	Motocicletas	508.200		Motocicletas	677.300
	<b>Total</b>	<b>2.743.900</b>		<b>Total</b>	<b>3.180.600</b>
Vehículos pesados	Mercaderías pesados	176.400	Vehículos pesados	Mercaderías pesados	254.300
	Autobuses	4.700		Autobuses	5.600
	<b>Total</b>	<b>181.100</b>		<b>Total</b>	<b>259.900</b>
<b>TOTAL PARQUE VEHÍCULOS</b>		<b>2.925.000</b>	<b>TOTAL PARQUE VEHÍCULOS</b>		<b>3.440.500</b>

Tabla C.21 Parque de vehículos en Barcelona (Autoritat del Transport Metropolità, 2008)

Como se puede observar, en el año 2004 el 73% de los vehículos ligeros que concurrían por las vías barcelonesas eran turismos, mientras que el porcentaje de vehículos de transporte de mercancías pesadas era del 97,4% respecto al total de vehículos pesados, correspondiente al 68% y al 6%, respectivamente, del total del parque de vehículos para este año. El tendencial para el año 2012 disminuía los valores referentes a los turismos, pasando al 63% del parque total de vehículos, a diferencia de los camiones, que aun manteniendo el mismo porcentaje respecto al total de vehículos pesados, incrementaba un 1,5% respecto al total de vehículos.

Vista la repercusión de los transportes al medio urbano y medioambiental, para analizar la contaminación atmosférica de las ciudades, este trabajo se centrará en las emisiones que los automóviles producen. Sin embargo, la cantidad de CO<sub>2</sub> que producen los vehículos variará en función de la velocidad de circulación de los vehículos, así como de la vía urbana en la cual circulen.

La [Autoritat del Transport Metropolità \(2008\)](#) de Barcelona define tres vías de circulación diferentes: la red urbana, la red local y la red básica, con el fin de evaluar los cambios que se producen en cuanto a las emisiones de dióxido de carbono, independiente de la velocidad media de circulación.

Normalmente, se considera que a medida que aumenta la velocidad, las emisiones de CO<sub>2</sub> son más elevadas, aunque este hecho no siempre se cumple; Por ejemplo, en la red urbana, donde la velocidad media de circulación se sitúa entre los 10 km/h y los 26 km/h, las emisiones de CO<sub>2</sub> se ven reducidas al aumentar esta velocidad, es decir, pasando de 15 a 25 km/h. Así mismo, en la red local, donde la velocidad media es de entre 28 km/h y 40 km/h, las emisiones son menores a medida que la velocidad de circulación aumenta. Sin embargo, ocurre lo contrario en la red básica, cuando la velocidad se sitúa entre los 40 km/h y los 100 km/h, las emisiones de CO<sub>2</sub> se ven reducidas.

La reducción de emisiones del primer y segundo caso se debe a un uso más eficiente del vehículo, a diferencia de lo que ocurre en la red básica, en la cual, a partir de una cierta velocidad de circulación, las emisiones aumentan, siendo para el óxido de nitrógeno de aproximadamente 50 km/h, debido a un consumo más elevado de energía necesario para mover el vehículo a velocidades mayores. No obstante, se debe de tener en cuenta que para un coche convencional, las emisiones siempre aumentarán con la velocidad. La Tabla C.22 y la Figura C.22 describen la variación de las emisiones según los cambios de velocidades en cada zona de la ciudad.

Tipo de Red	Velocidad turismos, veh. ligeros y motocicletas (km/h)	Velocidad buses (km/h)	Variación total respecto al 2015 tendencial, incl. buses (t CO <sub>2</sub> )	% variación sobre las emisiones totales respecto 2015 tendencial (%)
Urbana	26	17	-442.135	-12
	22	15	-204.075	-5
	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	16	11	233.015	6
	13	9	506.340	14
Local	43	42	-260.135	-9
	40	39	-150.280	-5
	<b>36</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	32	31	140.745	5
	28	27	328.500	-12
Básica	100	78	767.703	11
	90	70	164.043	2
	<b>86</b>	<b>66</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	80	62	-143.208	-2
	70	54	-164.467	-2
	60	46	96.400	1
	40	31	1.424.902	20

Tabla C.22 Comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por modificaciones de la velocidad ([Autoritat del Transport Metropolità, 2008](#))

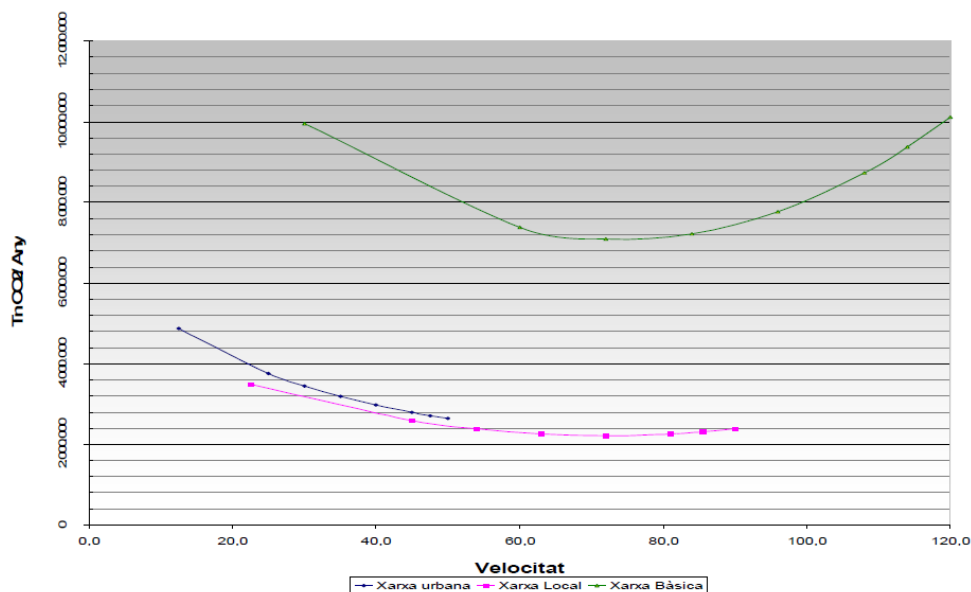


Figura C.22 Comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> (t/año) con variación de la velocidad media (Autoritat del Transport Metropolità, 2008)

Analizada la información facilitada por la Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona y la Oficina Catalana del Canvi Climàtic, se han definido tres grados de contaminación a las que están expuesta las fachadas en función de la velocidad de circulación de los vehículos de Barcelona. En la Tabla C.23 se establecen los grados de impacto que ejerce la concentración de CO<sub>2</sub> sobre las fachadas en función de la velocidad de la red viaria.

Velocidad media viaria	Grado de impacto
> 80 km/h	Alto
20 - 80 km/h	Medio
< 20 km/h	Bajo

Tabla C.23 Velocidad de circulación y grado de contaminación

El grado de contaminación también depende del flujo de vehículos en una determinada vía de tránsito. Esta será más demandada en horas de máxima actividad y/o cuando sea más estrecha o con una capacidad limitada.

En estos casos la cantidad de emisiones que se producen, debido al combustible de los vehículos que están inactivos durante un largo tiempo en un mismo lugar, sobrepasan la capacidad de absorción, haciendo que el grado de contaminación aumente. En general, cuando la congestión de una vía sea elevada el grado de contaminación será alto. Análogamente, cuando el flujo de vehículos sea menor, el grado de contaminación será inferior. La Tabla C.24 establece la relación entre el grado de congestión de una vía y el grado de contaminación atmosférica de la misma.



---

Congestión	Contaminación
Alta	Alto
Media	Medio
Baja	Bajo

*Tabla C.24 Congestión y grado de contaminación*

### C.5 Reflexión

Analizados los diferentes fenómenos medioambientales (el sol, el viento, las precipitaciones y la contaminación atmosférica) que se tendrían que considerar en un estudio exhaustivo de sus efectos, para cada uno de ellos, sobre todos y cada uno de los elementos que constituyen una fachada muestra la complejidad y la inviabilidad de su consideración en detalle sobre una gran muestra poblacional. Sin embargo la investigación se va a plantear como incorporar a través de una propuesta de grados de impacto cualitativos su incursión en la Tesis Doctoral.

La argumentación que sostiene el estudio va a enfrentar los datos del estado de degradación de las fachadas a su situación territorial, al concepto de cañón urbano y a la morfología de sus frentes para despejar si existen comportamientos que deriven a demostrar una modificación significativa relacionada con estos fenómenos medioambientales en su comportamiento a lo largo del tiempo.



# Anejo D

## ANÁLISIS DE LOS DOCUMENTOS DE INSPECCIÓN



Este anejo plantea como se han obtenido las valoraciones de los requerimientos que establece el SPM/D/FUE para cumplir los parámetros idóneos en escenarios de macroinspecciones en frentes urbanos y la verificación sobre distintos documentos de inspección existentes en el grado de cumplimiento de los parámetros establecidos.

La circunstancia de emplear, en este proyecto de investigación, los datos obtenidos bajo un proceso de inspección predefinido por el Laboratorio de Edificación requería determinar su grado de ajuste al nuevo sistema planteado y a su vez, cuál era su posicionamiento frente a otros métodos empleados habitualmente y consensuados por distintas instituciones en colaboración con los colegios profesionales del sector.

### **D.1 Ficha de evaluación individual de los requerimientos y resultados**

El documento que se elaboró y entregó a los colaboradores designados para realizar la evaluación de los distintos requerimientos, generales y específicos, con el propósito de que fueran ponderados por su grado de importancia en base a la experiencia y conocimiento de cada participante, consta de cuatro páginas: la primera recoge los objetivos que se le piden a una ficha de inspección de fachadas óptima en base a los requerimientos establecidos a tal efecto. En la segunda, se detalla cada requerimiento a ponderar con la intención de evitar posibles discrepancias de interpretación. En la tercera se detalla cómo realizar la valoración y en la cuarta, y última página, se adjunta el formulario donde anotar los diferentes pesos.

Es importante destacar como se debía realizar la valoración de cada requerimiento para entender el posterior análisis que se hizo con ella:

- Las características generales se debían ponderar en función de su nivel de importancia del 0 a 100, siendo 0 muy en desacuerdo y 100 muy de acuerdo, de forma que el sumatorio de las seis puntuaciones fuera del 100%, como se puede observar en la primera tabla del Documento 1.
- Análogamente, la valoración de las tres características específicas respectivas a cada una de las anteriores se hizo proporcionando a cada una de ellas un valor entre 0 a 100, el sumatorio de los cuales debe de ser 100%.

*Documento 1 Ficha de valoración individual de los requerimientos*

**PARTICIPACIÓN EN EL ANÁLISIS DE FICHAS DE INSPECCIÓN DE FACHADAS**

**¿Qué se pide?**

Toda ficha de inspección de fachadas debe cumplir unos objetivos. En nuestro caso, desde el Laboratorio de Edificación, interesa una ficha que permita mostrar el estado de cada elemento que la compone consiguiendo, mediante una metodología establecida, transmitir en qué magnitud y grado se desarrolla la lesión que la afecta. Esta inspección se debe conseguir hacer de la forma más rápida posible y con coste mínimo ya que se quiere realizar en un gran parque edificado. Los datos que se obtengan deben servir para mostrar el estado en el que se encuentran las distintas fachadas y llevar un control sobre ellas, además de gestionarlas y procesarlas en estudios sobre durabilidad paralelos.

Se han establecido una serie de campos que abarcan el concepto de inspección y que se creen imprescindibles para poder analizar de forma correcta las diferentes fichas propuestas. De cada campo se han extraído unos criterios concretos que se considera que se deben cumplir para que la ficha responda favorablemente.

Los criterios establecidos son los que se mencionan a continuación:

Características generales	Características específicas
Identificación	Descriptiva
	Metódica
	Universal
Clasificación	Secuencial
	Detallada
	Ordenada
Metodología	Robusta
	Estándar
	Rápida
Recursos	Tecnológicos
	Humanos
	Tiempos
Calidad de los datos	Fiables
	Cuantificables
	Contrastables
Análisis	Multifuncional
	Procesables
	Longitudinal

Ahora bien, todos estos campos y criterios no tienen el mismo peso por igual, siendo algunos más importantes que otros. Para poder establecer una importancia coherente entre unos y los otros se pide la cuantificación, en base a la experiencia, y qué opinión de valoración merece cada concepto presentado. A partir de los resultados obtenidos se hará un análisis entre los diferentes indicadores creando un valor promedio entre ellos. Las definiciones de los diferentes campos y criterios se encuentran adjuntados en el Anejo.

## ANEJO

- **Identificación:** Definición de las características generales de la fachada.
- **Descriptiva:** La ficha contiene apartados que permiten registrar la información más relevante (datos morfológicos, datos catastrales y estado de conservación).
- **Metódica:** La información se estructura según los diferentes ámbitos.
- **Universal:** La ficha permite la inspección de cualquier tipología de fachada.
  
- **Clasificación:**
- **Secuencial:** La información de cada ámbito se obtiene de manera que aporta un valor añadido.
- **Detallada:** La ficha es capaz de describir con detalle la información.
- **Ordenada:** En la ficha se especifican los datos de manera coherente dentro de cada ámbito.
  
- **Metodología:**
- **Robusta:** Los contenidos se presentan de forma clara, sin permitir diferencias de interpretación.
- **Estándar:** Los datos se registran con la misma denominación identificativa.
- **Rápida:** El uso de la ficha permite minimizar el tiempo de inspección en la recogida de datos.
  
- **Recursos:**
- **Tecnología:** Las técnicas y medios necesarios reducen el coste asociado.
- **Humanos:** El nombre y grado de especialización de los agentes que intervienen reducen el coste asociado.
- **Tiempos:** El uso de la ficha reduce el tiempo necesario para realizar la inspección y obtener los resultados.
  
- **Calidad de los datos:**
- **Fiables:** Los datos obtenidos son creíbles y aportan confianza.
- **Cuantificables:** Los datos permiten extraer resultados numéricos.
- **Contrastables:** Los datos permiten comprobar la bondad de los datos frente a la realidad objetiva.
  
- **Análisis:**
- **Multifuncional:** Los datos se pueden utilizar para diferentes tipos de análisis.
- **Procesables:** Los datos pueden ser sometidos de forma sistematizada a operaciones programadas.
- **Longitudinal:** El formato de registro de los datos permite hacer una comparativa a lo largo del tiempo para observar su evolución.

**¿Cómo evaluar los campos y criterios?**

La valoración de las distintas características generales se hará ponderando su nivel de importancia de 0 a 100, de forma que el sumatorio final de todos ellos sea del 100%.

La valoración de las diferentes características específicas se hará proporcionando a cada una de ellas un valor entre 0 y 100 (0 = muy en desacuerdo, 10 = muy de acuerdo), de forma que la suma entre las respectivas a un mismo campo sea del 100%.



Nombre y apellidos del evaluador:

<b>Características generales</b>		
<b>Nº</b>	<b>Apartados de análisis</b>	<b>%</b>
1	Identificación	
2	Clasificación	
3	Metodología	
4	Recursos	
5	Calidad de los datos	
6	Análisis	
		100
<b>Características específicas</b>		
<b>Nº</b>	<b>Identificación</b>	<b>%</b>
1.1	Descriptiva	
1.2	Metódica	
1.3	Universal	
		100
<b>Nº</b>	<b>Clasificación</b>	<b>%</b>
2.1	Secuencial	
2.2	Detallada	
2.3	Ordenada	
		100
<b>Nº</b>	<b>Metodología</b>	<b>%</b>
3.1	Robusta	
3.2	Estándar	
3.3	Rápida	
		100
<b>Nº</b>	<b>Recursos</b>	<b>%</b>
4.1	Tecnológicos	
4.2	Humanos	
4.3	Tiempos	
		100
<b>Nº</b>	<b>Calidad de los datos</b>	<b>%</b>
5.1	Fiables	
5.2	Cuantificables	
5.3	Contrastables	
		100
<b>Nº</b>	<b>Análisis</b>	<b>%</b>
6.1	Multifuncional	
6.2	Procesables	
6.3	Longitudinal	
		100

4/4

## D.2 Evaluación individual de los requerimientos

Las evaluaciones individuales para cada característica general y específica de los diferentes colaboradores que se prestaron a tal ejercicio se recogen en las columnas centrales de la Tabla D.1.

Para completar la tabla, se añadieron dos columnas: el promedio global, es decir, el promedio de cada fila, haciendo referencia a la puntuación media de cada característica general o específica correspondiente, y el promedio relativo, indicando el porcentaje de cada característica específica respecto al total, es decir, 100.

Campos y criterios	Individuo 1	Individuo 2	Individuo 3	Individuo 4	Promedio global	Promedio relativo
<b>Identificación</b>	25	20	15	10	17,50	
Descriptiva	50	30	35	30	36,25	6,340
Metódica	20	40	25	30	28,75	5,030
Universal	30	30	40	40	35,00	6,130
<b>Clasificación</b>	15	20	10	20	16,25	
Secuencial	35	40	50	20	36,25	5,890
Detallada	40	20	30	50	35,00	5,690
Ordenada	25	40	20	30	28,75	4,670
<b>Metodología</b>	20	20	25	25	22,50	
Robusta	40	40	20	40	35,00	7,875
Estándar	30	30	40	20	30,00	6,750
Rápida	30	30	40	40	35,00	7,875
<b>Recursos</b>	15	10	10	10	11,25	
Tecnológicos	30	30	10	30	25,00	2,870
Humanos	50	30	20	40	35,00	4,030
Tiempos	20	40	60	30	37,50	4,600
<b>Calidad de los datos</b>	20	20	25	20	21,25	
Fiables	50	40	40	40	42,50	9,030
Cuantificables	20	30	35	40	31,25	6,640
Contrastables	30	30	25	20	26,25	5,580
<b>Análisis</b>	5	10	15	15	11,25	
Multifuncional	25	30	20	30	26,25	2,950
Procesables	50	40	35	40	41,25	4,640
Longitudinal	25	30	45	30	32,50	3,660

*Tabla D.1 Valoración de los campos y criterios de los expertos y promedios globales y relativos respectivos*

Así por ejemplo, el requerimiento “Identificación” obtuvo un 17,50 puntos sobre los 100 que estaban en juego, es decir, de media tiene un grado de importancia del 17,50%. Obsérvese que, como es de esperar, la suma de los promedios globales de todas las características generales es 100. Siguiendo con el ejemplo, el requerimiento específico “Descriptivo” del campo Identificación ha obtenido una puntuación media de 36,25 de los 100 puntos a repartir, esto indica que el grado de importancia que tiene la descripción en cuanto a cómo identificar la fachada en estudio es del 36,25%, o lo que es lo mismo, el 6,34% del contenido de una ficha de inspección debe hacer referencia a la descripción de la fachada para poderla considerar una ficha óptima.

**D.2.1 Diversidad de las valoraciones.**

Ahora bien, como se puede observar en la Figura D.1, la importancia de cada requerimiento para cada técnico evaluador es, normalmente, diferente. La diversidad de opiniones respecto dichos parámetros se muestran gráficamente de la Figura D.2 a la Figura D.7:

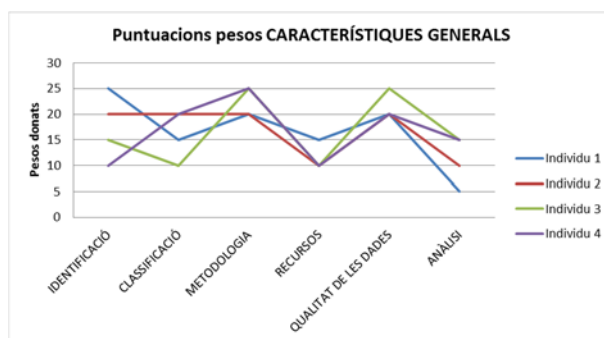


Figura D.1 Pesos de las características generales según cada individuo

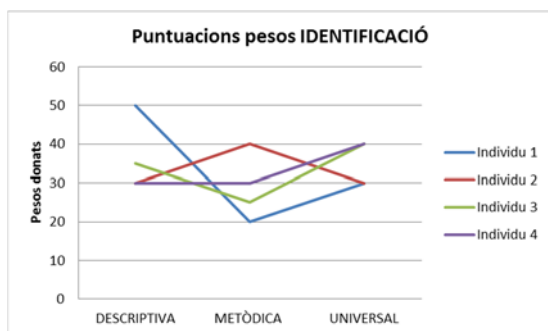


Figura D.2 Pesos relacionados con la identificación según cada individuo

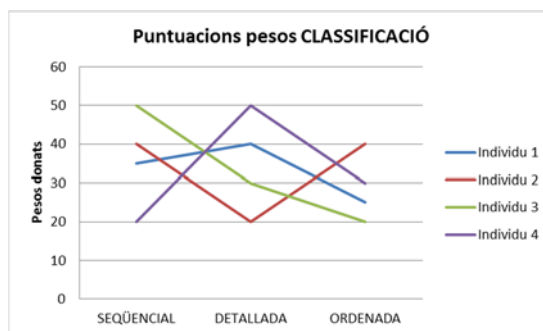


Figura D.3 Pesos relacionados con la clasificación según cada individuo

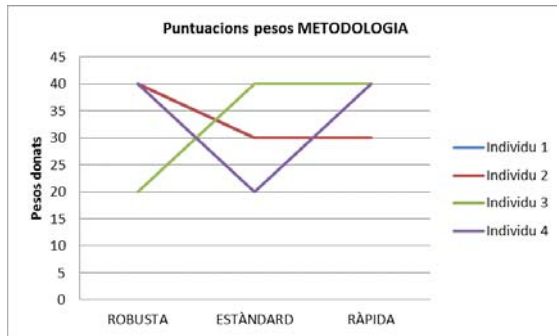


Figura D.4 Pesos relacionados con la metodología según cada individuo

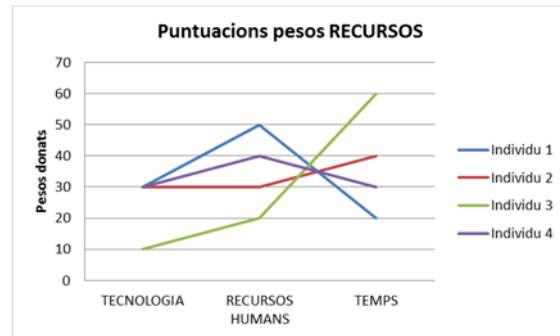


Figura D.5 Pesos relacionados con los recursos según cada individuo

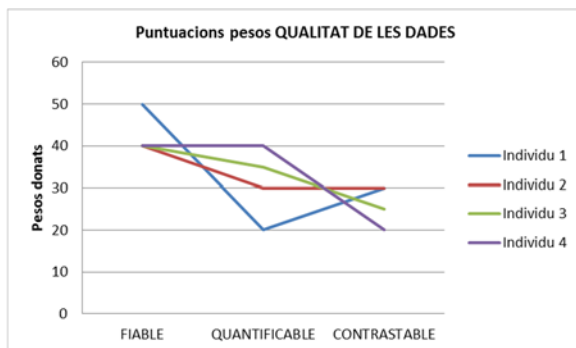


Figura D.6 Pesos relacionados con la calidad de los datos según cada individuo

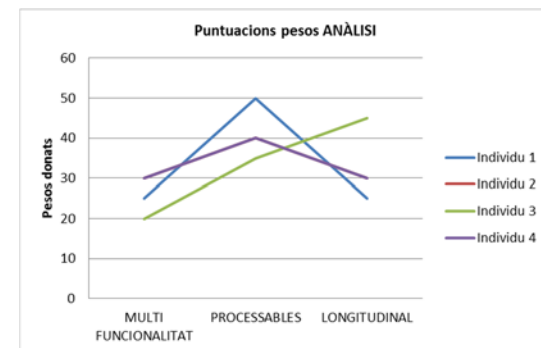


Figura D.7 Pesos relacionados con el análisis de los datos según cada individuo

Las evaluaciones demuestran que en la Figura D.1 existe una gran diversidad de opinión por parte de los evaluadores en el campo de la identificación, seguido por la clasificación y el análisis, lo contrario que ocurre con los campos de recursos y la calidad de los datos, en los cuales 3 de los 4 expertos los puntúan igual, dando, en todo caso, mayor importancia a la calidad de los datos que a los recursos.

La Figura D.2 muestra la divergencia de opinión de las características específicas de la identificación, siendo la descriptiva la más dispar.

Los resultados ilustrados en la Figura D.3 reflejan el desacuerdo de los expertos evaluadores en cuanto a los criterios del campo de clasificación, llegando a ser, esta diferencia, de hasta el 30%.

En el caso de la metodología, campo que se le ha otorgado el mayor peso de los propuestos, es el más uniforme en cuanto a las puntuaciones dadas a los distintos criterios, divergiendo hasta un 5%, y existiendo un empate entre el criterio de robustez y la de rapidez. Además, en la Figura D.4 se observa que dos evaluadores han dado la misma puntuación a los tres criterios, por este motivo solo salen representadas tres líneas. En concreto, observando la Figura D.3 se trata del

individuo 1 y 2. El individuo 3, en todo caso, es el que defiende en opinión respecto los otros técnicos.

En la Figura D.5 se puede ver que tres especialistas consideran que la tecnología debe tener un 30% de importancia. En los otros dos criterios pasa lo contrario, hay más diversidad de opinión, llegando a ser del 40% en el caso del tiempo.

La Figura D.6 ilustra la diversidad de opinión de las características específicas de la calidad de los datos. Como se observa, este caso es el más homogéneo en cuanto a los pesos otorgados a cada criterio, variando como máximo un 20% la opinión del individuo 1 y 4 respecto a la cuantificación de los datos.

Finalmente, en la Figura D.7 se observa, igual que ha pasado en la Figura D.4, que solo se ilustran tres de los 4 técnicos, puesto que los pesos dados por los individuos 2 y 4 son los mismos para todos los criterios. En este caso, igual que con el peso otorgado a los criterios relacionados con la calidad de los datos, existe poca diversidad de opinión entre los criterios relacionados con el análisis de los datos, siendo, en todo caso, el que sean longitudinales el más diferente, llegando a ser del 20% entre el individuo 1 y 3.

Entre las diferentes características generales y específicas se ha podido observar cómo ha existido cierta diferencia entre los pesos dados por cada uno de los colaboradores. Su experiencia y profesionalidad y, más concretamente, en temas de inspecciones, hace que se consideren los diferentes porcentajes suficientemente fiables. Es cierto que en algún punto existe mucha diferencia, sin embargo, también es cierto, que cuesta conseguir una uniformidad de opinión en este sentido refrendada en la mayoría de la bibliografía científica consultada.

### D.3 Fichas de campo existentes: ITeC y ITE.

#### Ficha de campo ITeC

El Instituto Tecnológico de la Construcción (ITeC) propuso en el año 2000, con la publicación del libro "*Reconocimiento, diagnosis e intervención en fachadas*" (Bellmunt *et al.*, 2000), una ficha de campo con el fin de ofrecer a los distintos técnicos una metodología más o menos pautada y completa que aportara los datos suficientes sobre el estado de las fachadas que se inspeccionaran.

El objetivo que pretendía obtener ITeC era sistematizar los criterios de inspección, diagnosis e intervención en función del elemento constructivo, primero como entidad autónoma y, posteriormente, como elemento que forma parte de un conjunto más amplio como es la fachada o el edificio.

Con este sistema de inspección y diagnosis se pretendía intervenir en todos los elementos que quedaran cualificados según el riesgo que aportaran a las personas o a la propia estructura del

edificio. Con estas intervenciones se garantizaba hasta donde era posible la durabilidad y la seguridad de los elementos mencionados. Además, se publicó la metodología y las pautas de intervención en diferentes elementos según el tipo de lesión consiguiendo que los distintos técnicos especializados en el sector, por primera vez, tuvieran una guía que les permitiera saber si lo que estaban realizando era correcto o no.

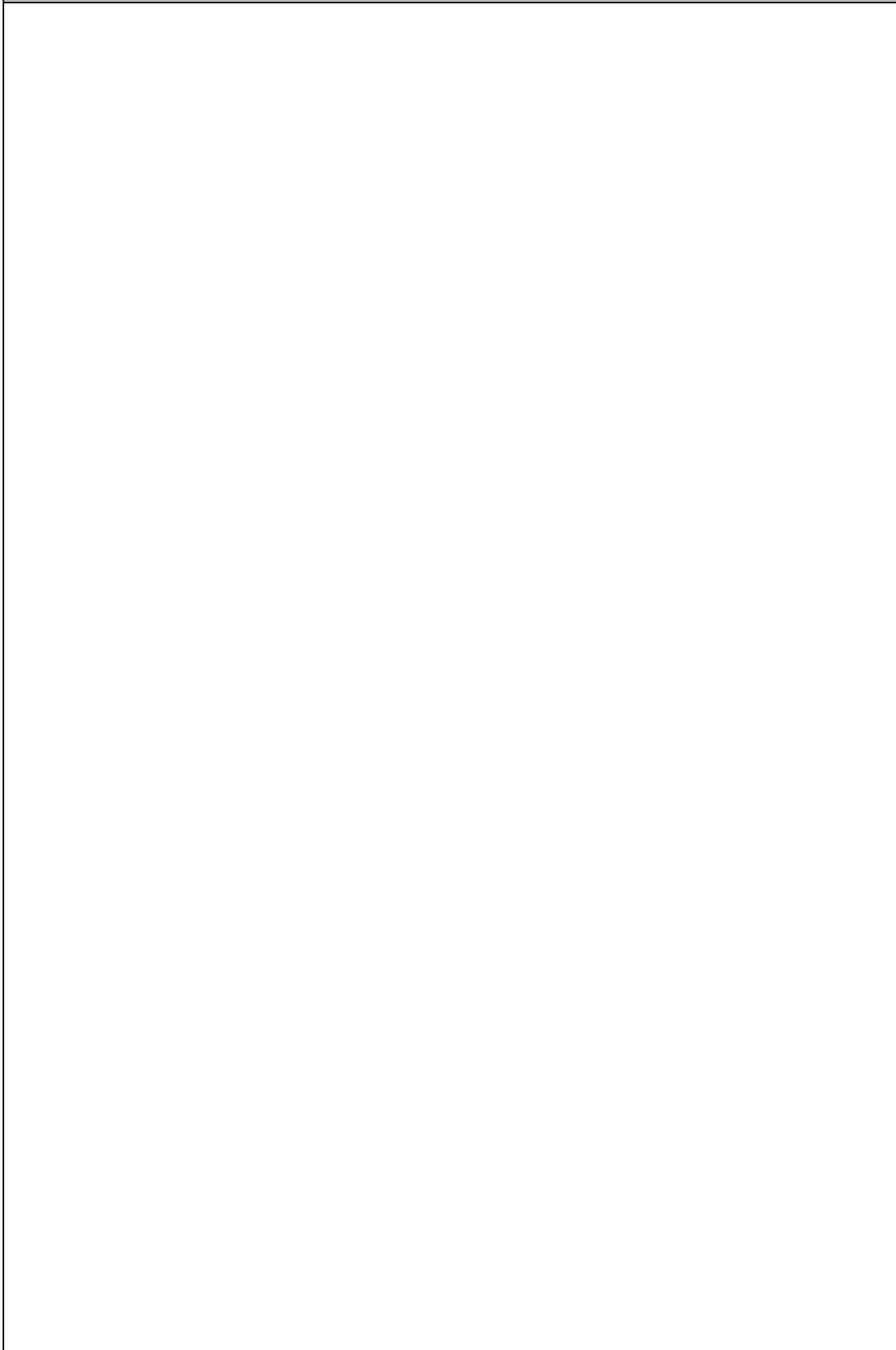
Este tipo de ficha propuesta no pretendía ser una ficha normalizada ni tampoco una ficha de obligado uso. Simplemente se pretendía aportar un modelo tipo para que los técnicos tuvieran una guía donde apoyarse siempre que tuvieran una duda.

La ficha propuesta por ITeC (Documento 2), sirve únicamente para las fachadas de los edificios, analizando todo su conjunto. Consta de tres páginas; en la primera se recogen los datos generales y la tipología de edificio, seguidamente se describe, de la manera más concreta y extensa posible, la distribución de las fachadas que lo componen, anotando el material que las forman, así como aquellos elementos constructivos que la caracterizan. En la segunda página (se pueden adjuntar tantas como sean necesarias) se representa el esquema de la fachada, situando las lesiones que presente la misma e identificándolas de forma numérica para poderlas localizar en las diferentes fotografías que se adjuntarán dentro del dictamen. En la tercera, y última página, se numeran las lesiones según lo establecido en la página anterior, describiéndolas y localizándolas dentro de los elementos de la fachada para determinar si se requiere una intervención inmediata o no.

## Documento 2 Ficha de reconocimiento de la fachada propuesta por ITeC

DATOS GENERALES		
Municipio:	Código postal:	Fecha inspección:
Dirección:	Núm.:	Barrio:
Técnico inspector:	Titulación:	
TIPOLOGÍA DEL EDIFICIO		
Aislada	Entre medianeras	
ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS FACHADAS Y ORIENTACIÓN		
DESCRIPCIÓN DEL CERRAMIENTO VERTICAL EXTERIOR		
PARAMENTO:		
ABERTURAS:		
ELEMENTOS SALIENTES:		

ESQUEMAS DE SECCIÓN Y FACHADA: LOCALIZACIÓN DE LAS LESIONES





NÚMERO LESIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN	NÚMERO DE FOTO	INTERVENCIÓN INMEDIATA	LOCALIZACIÓN DE LA LESIÓN	OBSERVACIONES

Si la intervención es inmediata, es preciso  apuntalar  
 desalojar  
 colocación de medios de protección

Descripción de la lesión:

1. Fisuras
2. Desprendimientos
3. Manchas y eflorescencias
4. Degradación del material
5. Suciedad

Una vez realizada la inspección la ficha ITeC propone diferentes tipos de intervención inmediata: apuntalamiento, desalojo y colocación de protección. En el caso que la lesión no requiera de una de estas intervenciones, la lesión será considerada como leve.

ITeC además, propone tres grados de riesgo de la deficiencia:

- **Primer grado:** No peligroso. Sólo afecta al aspecto estético. Se deben adoptar algunas precauciones para evitar este desorden, como pintar el acero para prevenir las manchas de óxido, alejar el agua de los desagües de los elementos metálicos, etc. En general, operaciones de mantenimiento preventivo.
- **Segundo grado:** Es preciso tomar precauciones si se quiere obtener una cierta durabilidad del conjunto: por ejemplo, prever juntas suficientes para la dilatación de los elementos, humedecer ciertos materiales antes de aplicarlos para evitar su desecación, etc. En general, se toman previsiones de proyecto o de ejecución.
- **Tercer grado:** Resulta peligroso si no se han tomado las disposiciones constructivas necesarias en la puesta en obra. La destrucción de los materiales es posible a corto, medio o largo plazo; y es debida, por ejemplo, a la corrosión electrolítica entre diferentes metales, al no haber dejado airear la madera antes de formar parte de la pared, a una inadecuada selección de plásticos y resinas, a no haber dispuesto procedimientos para evitar esfuerzos mecánicos importantes, a reacciones químicas no previstas, a no haber reforzado la atadura entre dos materiales para evitar las fisuras.

Según el grado de riesgo que presenten los elementos afectados, habrá un tiempo de actuación u otro. ITeC define este tiempo como programable, diferible o urgente.

- **Intervención programable:** Cuando la actuación se puede realizar pasados tres años desde la redacción del informe o dictamen.
- **Intervención diferible:** Cuando la actuación se puede realizar dentro de los tres años posteriores a la redacción del informe o dictamen.
- **Intervención urgente:** La actuación de mejora debe realizarse en menos de un año desde la redacción del informe o dictamen.

La definición o clasificación de la lesión se presenta en cinco tipos, como se puede ver en la parte inferior de la tercera hoja de la ficha ITeC, identificándolas con una numeración del 1 al 5. El 1 significa que las lesiones detectadas en la fachada son fisuras y grietas, el 2 corresponde a desprendimientos, el 3 a manchas y eflorescencias, el 4 a degradación del material y el 5 a suciedad.

## Ficha de campo ITE

La ficha de inspección propuesta por la Generalitat de Catalunya se publicó en el BOE el 23 de noviembre de 2010 ([Decret 187/2010, Catalunya](#)) y entró en vigor el 23 de febrero de 2011, tres meses después de su publicación.

Esta ficha se creó gracias al artículo 2.4 del [Pacte Nacional per a l'habitatge 2007-2016 \(2010, Catalunya\)](#) firmado el 7 de octubre de 2007 entre el gobierno de Cataluña y entidades y organizaciones relacionadas con el sector de la vivienda de Cataluña. Este artículo preveía la aprobación del decreto de instauración de la inspección técnica de los edificios.

Su aparición se originó a causa de los distintos incidentes que ocurrieron en diferentes zonas de Cataluña así como del mal estado de muchos edificios. Con esta publicación se obliga a toda la comunidad autonómica catalana a que inspeccione todos sus edificios en un tiempo determinado marcado por la antigüedad del edificio en cuestión.

El objetivo de la Generalitat de Catalunya con la creación de la ficha ha sido instituir un sistema de control periódico del estado de los edificios de viviendas para verificar los derechos y obligaciones que tienen los propietarios de conservar y rehabilitar los inmuebles de manera que siempre se encuentren en las mejores condiciones y adecuados a lo que prevé la *Llei del dret a l'habitatge i la normativa d'ordenació de l'edificació, del patrimoni cultural i arquitectònic, de protecció del medi ambient i del paisatge i d'urbanisme*.

Esta ficha consta de 7 páginas a rellenar por el técnico especializado, intentando dar la mayor información relacionada con el edificio: sistema estructural, la envolvente y las instalaciones. Para obtener una buena recogida de datos se recomienda inspeccionar cada una de las diferentes viviendas y zonas comunes del edificio, y observar todos los elementos relevantes para el estudio.

El contenido este documento es el siguiente y se adjunta en este anexo como Documento 3: La primera página recoge los datos generales del edificio, adjuntando una fotografía del mismo en el espacio habilitado para ello. En la segunda, en la parte superior, se describe y se dibuja un croquis del esquema general del edificio y, en la parte inferior, se define el contenido de cada planta (parkings, locales y/o viviendas) y se señalan las que han sido inspeccionadas. En la tercera se describe la envolvente, explicando el subsistema del edificio de la manera más precisa y completa posible, y se acompaña de una fotografía. En la siguiente página se habla del sistema estructural (vertical, horizontal y escalera). En el caso de la fachada solo interesa el sistema vertical, motivo por el cual, el inspector debe informar detalladamente sobre la estructura de ésta, indicando el sistema constructivo, los materiales que la forman y los elementos que la caracterizan, y se acompaña de una fotografía que verifique lo mencionado. La siguiente página se describe el sistema de instalaciones del edificios, al no ser relevante para el estudio de las fachadas, proseguimos a explicar la sexta página, en la cual el inspector debe manifestar las diferencias observadas, indicando a que elemento afecta, situarla dentro de la fachada mediante

una fotografía y describiendo dicha lesión, indicando su grado de importancia diferenciando entre graves (en cuyo caso se mencionaran en los términos indicados y se expresara explícitamente si presentan riesgo para las personas o no, y las medidas urgentes de seguridad a adoptar previas a la ejecución de las obras) o leves (indicando los trabajos de mantenimiento a realizar para evitar el deterioro del edificio o parte de éste). Finalmente, en la última página, se relacionan y cualifican las deficiencias detectadas por el técnico y, en función de éstas, se hace una valoración del estado general del edificio, catalogándolo de muy grave, con deficiencias graves, con deficiencias leves o sin deficiencias.

Documento 3 Modelo de ficha de inspección técnica de edificios (ITE) propuesta por la Generalitat de Catalunya


86772

Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya Núm. 5764 – 26.11.2010

ANNEXOS

ANNEX 1

Model d'informe de la inspecció tècnica



Generalitat de Catalunya  
**Agència de l'Habitatge de Catalunya**

**Model d'informe de la inspecció tècnica**

---

**Identificació de l'expedient**

---

Emplaçament	Data de la inspecció			
Localitat	Any de construcció			
Ref. cadastral de l'edifici	Finca / Parcel·la	Full del plànol	Local / Plà	Con.
Sol·licitant	En qualitat de	Adreça	Telèfon de contacte	
Tècnic/a	Telèfon de contacte	Titulació	Núm. col·legiat/ada	

**Fotografia de l'edifici**

---

1 / 7

Disposicions



Generalitat  
de Catalunya

<http://www.gencat.cat/dogc>

ISSN 1988-298X  
DL B-38014-2077

Generalitat de Catalunya  
**Agència de l'Habitatge de Catalunya**

### Descripció de l'edifici

Descripció

Croquis (esquema en planta que indiqui façanes, mitgeres i patis)

### Relació de nombre d'entitats

Planta	Existents				Inspeccionades								Total d'entitats inspeccionades				
	Habitatges	Locals	Pàrquing	Total	Habitatges (assenyaleu les portes visitades)				Locals								
					1	2	3	4	1	2	3	4					
Pt. sotà rasant -2																	
Pt. sotà rasant -1																	
Pt. baixa																	
Pt. entresòl																	
Pt. primera																	
Pt. segona																	
Pt. tercera																	
Pt. àtic																	
Pt. sobreàtic																	
Altres .....																	
Total d'entitats																	

2 / 7

### Disposicions

Generalitat de Catalunya  
Agència de l'Habitatge de Catalunya

**Descripció del sistema envolupant**

---

**Subsistema**

---

Descripció

Fotografia

---

3 / 7

**Disposicions**

Generalitat de Catalunya  
**Agència de l'Habitatge de Catalunya**

**Descripció del sistema estructural**

Cal especificar el sistema estructural de l'edifici fent esment, fins on sigui possible, dels materials i elements que el componen o, si s'escau, dels que no es poden determinar.

**Estructura vertical**

Descripció

**Estructura horitzontal**

Descripció

**Escala**

Descripció

4 / 7

**Disposicions**



Generalitat de Catalunya  
**Agència de l'Habitatge de Catalunya**

**Descripció del sistema d'instal·lacions**

---

**Xarxa de sanejament**

Localització \_\_\_\_\_

Baixant Situació  Vist  Encastat  
 Material  Ceràmic  Fibrociment  PVC  Es desconeix

Col·lector Situació  Enterrat  Vist  Encastat  
 Material  Formigó  Ceràmic  Fibrociment  PVC  Es desconeix

---

**Instal·lació d'aigua**

Procedència  Xarxa general  Aforament  Captació pròpia

Ubicació bateria comptadors \_\_\_\_\_

Ubicació clau de pas general \_\_\_\_\_

Tipus canonada dels muntants  Plom  Ferro  Coure  Plàstic  .....

---

**Instal·lació d'electricitat**

Ubicació de quadre de protecció \_\_\_\_\_

Quadre general de protecció  ICP  Interruptor diferencial

Ubicació de comptadors  Individuals a cada habitatge  Centralitzats

---

**Instal·lació de gas o altres fonts energètiques**

Tipus de subministrament  Gas natural  .....

Ubicació de comptadors  Individuals a cada habitatge  Centralitzats

---

**Ascensor**

Hi ha ascensor  Sí  No

Dimensions de la cabina: Profunditat ..... Amplada .....

Es possible la instal·lació?  Sí  No

Ubicació \_\_\_\_\_

Observacions \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

5 / 7

Disposicions



Generalitat de Catalunya  
**Agència de l'Habitatge de Catalunya**

**Deficiències detectades**

**Element**

Localització

Descripció de la deficiència

Fotografia

**Qualificació de la deficiència:**

**Greu** Deficiència que cal esmenar en el termini indicat:  6 mesos  12 mesos  Altres:  
 Representa un risc per a les persones?  Sí  No  
 Mesures urgents de seguretat a adoptar, prèvies a l'execució de les obres:

**Lieu** Cal efectuar treballs de manteniment per evitar el deteriorament de l'edifici o d'una part.

6 / 7

## Disposicions

Generalitat de Catalunya  
**Agència de l'Habitatge de Catalunya**

**Relació i qualificació de les deficiències detectades**

Element Localització Descripció	Greus		Lleus
	Termini per a esmena de deficiències	Hi ha risc per a les persones?	

Cal realitzar una diagnosi estructural?  SI  NO  
 Cal realitzar altres tipus de proves?  SI  NO  
 Indiqueu-les

---

**Estat general de l'edifici segons les deficiències detectades**

**Molt greu:** Existència generalitzada de deficiències que per la seva importància afecten greument l'estabilitat de l'edifici i representen un perill per a la seguretat de les persones. Cal adoptar amb caràcter immediat les mesures de seguretat corresponents.

**Amb deficiències greus:** Existència de deficiències que per la seva importància cal esmenar en els terminis indicats. Si les deficiències comporten risc per a les persones, cal adoptar mesures urgents de seguretat, prèvies a l'execució de les obres.

**Amb deficiències lleus:** Existència de deficiències produïdes per manca de conservació. Cal efectuar treballs de manteniment per evitar el deteriorament de l'edifici o d'una part.

**Sense deficiències:** No s'aprecien deficiències en la inspecció ocular.

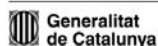
Signatura del/de la tècnic/a \_\_\_\_\_ Col·legi professional \_\_\_\_\_

Data \_\_\_\_\_

D'acord amb el que disposa la Llei orgànica 15/1999, de 13 de desembre, de protecció de dades, de caràcter personal (LOPD), us informem que les vostres dades de caràcter personal seran incorporades en un fitxer del qual és responsable l'Agència de l'Habitatge de Catalunya, amb domicili social al carrer de la Diputació, 92, 08015 Barcelona, a fi de gestionar la vostra sol·licitud. Us informem de la possibilitat d'exercir el dret d'accés, rectificació i, en cas de finalitzar la vostra relació amb l'Agència, cancel·lació de les vostres dades personals mitjançant una comunicació escrita, a la qual hauréu d'adjuntar una còpia del DNI, adreçada a la seu de l'Agència (Àrea TIC), al domicili social abans esmentat.

7 / 7

Disposicions



<http://www.gencat.cat/dogc>

ISSN 1988-298X  
DL B-38014-2077

#### **D.4 Valoraciones de las fichas de inspección de fachadas existentes.**

Para realizar un ejercicio comparativo de las fichas de inspección de fachadas existentes escogidas, se pidió la colaboración a los mismos expertos que realizaron la valoración de los requerimientos que debía de cumplir el que debería de ser un modelo de ficha óptima. En este caso, además, también se pidió la colaboración a tres técnicos juniors.

El Documento 4 que se les entregó a todos ellos fue la continuación al Documento 1 del Anejo D.1. El documento contiene el formulario a rellenar, explicando el método de valoración, en el cual se debía puntuar en base a los conocimientos y experiencia personales, el grado de cumplimiento, de 0 a 10, de cada característica específica de cada ficha de campo.

## Documento 4 Ficha de valoración individual de los requerimientos

Nombre y apellidos del evaluador:

---

### ¿Cómo evaluar los campos y criterios?

La valoración de las distintas características específicas para cada ficha de inspección existente (ITeC, ITE y LABEDI) se hará puntuando su nivel de cumplimiento de 0 a 10, siendo 0 muy en desacuerdo y 10 muy de acuerdo.

Características específicas		ITeC	ITE	LABEDI
<b>Nº</b>	<b>Identificación</b>	-	-	-
1.1	Descriptiva			
1.2	Metódica			
1.3	Universal			
<b>Nº</b>	<b>Clasificación</b>	-	-	-
2.1	Secuencial			
2.2	Detallada			
2.3	Ordenada			
<b>Nº</b>	<b>Metodología</b>	-	-	-
3.1	Robusta			
3.2	Estándar			
3.3	Rápida			
<b>Nº</b>	<b>Recursos</b>	-	-	-
4.1	Tecnológicos			
4.2	Humanos			
4.3	Tiempos			
<b>Nº</b>	<b>Calidad de los datos</b>	-	-	-
5.1	Fiables			
5.2	Cuantificables			
5.3	Contrastables			
<b>Nº</b>	<b>Análisis</b>	-	-	-
6.1	Multifuncional			
6.2	Procesables			
6.3	Longitudinal			

Las valoraciones individuales de los requerimientos específicos por parte de los siete colaboradores para la ficha propuesta por el Instituto Tecnológico de la Construcción (ITeC), para la ficha propuesta por la Generalitat de Catalunya (ITE) y para la ficha del Laboratorio de Edificación de la EPSEB (LABEDI), se recogen en las Tablas D.2, D.3 y D.4, respectivamente.

<b>Campos y criterios</b>	<b>I1</b>	<b>I2</b>	<b>I3</b>	<b>I4</b>	<b>I5</b>	<b>I6</b>	<b>I7</b>	<b>Media</b>
<b>Identificación</b>								
Descriptiva	5	5	6	3	7	8	7	5,86
Metódica	6	4	7	5	2	7	5	5,14
Universal	9	9	6	7	1	9	6	6,71
<b>Clasificación</b>								
Secuencial	6	5	6	5	2	5	4	4,71
Detallada	5	9	6	5	2	2	3	4,57
Ordenada	7	7	7	3	6	4	4	5,43
<b>Metodología</b>								
Robusta	5	2	2	5	3	7	4	4,00
Estándar	5	2	2	2	5	7	7	4,29
Rápida	6	3	5	5	3	6	8	5,14
<b>Recursos</b>								
Tecnológicos	7	5	4	7	4	6	8	5,86
Humanos	7	1	5	8	5	8	8	6,00
Tiempos	7	3	6	6	5	7	8	6,00
<b>Calidad de los datos</b>								
Fiabiles	6	8	6	4	8	7	6	6,43
Cuantificables	1	0	3	2	2	5	5	2,57
Contrastables	7	9	6	5	9	7	6	7,00
<b>Análisis</b>								
Multifuncional	4	1	7	5	7	3	8	5,00
Procesables	4	0	5	2	3	4	5	3,29
Longitudinal	5	3	6	1	2	6	5	4,00

Tabla D.2 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha ITeC (I=Individuo)

Campos y criterios	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	Media
<b>Identificación</b>								
Descriptiva	7	9	5	6	4	6	7	6,29
Metódica	9	9	6	8	5	6	5	6,86
Universal	6	8	6	8	6	9	6	7,00
<b>Clasificación</b>								
Secuencial	7	9	5	8	5	5	5	6,29
Detallada	6	9	6	8	6	3	3	5,86
Ordenada	8	8	5	9	4	6	4	6,29
<b>Metodología</b>								
Robusta	5	4	7	4	4	3	4	4,43
Estándar	5	4	2	6	3	2	7	4,14
Rápida	4	6	5	8	3	2	6	4,86
<b>Recursos</b>								
Tecnológicos	7	5	4	5	5	4	8	5,43
Humanos	6	2	5	4	2	2	8	4,14
Tiempos	6	6	7	3	1	6	8	5,29
<b>Calidad de los datos</b>								
Fiabiles	7	8	6	7	4	4	6	6,00
Cuantificables	2	2	2	5	3	1	5	2,86
Contrastables	9	7	5	7	2	6	6	6,00
<b>Análisis</b>								
Multifuncional	4	4	6	7	7	0	8	5,14
Procesables	4	2	4	5	1	0	5	3,00
Longitudinal	6	3	5	4	3	2	5	4,00

Tabla D.3 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha ITE (I=Individuo)

Campos y criterios	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	Media
<b>Identificación</b>								
Descriptiva	8	7	8	8	5	7	8	7,29
Metódica	8	8	9	7	8	8	6	7,71
Universal	8	8	8	6	5	7	4	6,57
<b>Clasificación</b>								
Secuencial	8	7	8	8	5	9	7	7,43
Detallada	9	7	7	7	7	9	7	7,57
Ordenada	9	8	9	6	6	8	8	7,71
<b>Metodología</b>								
Robusta	8	9	8	9	7	6	7	7,71
Estándar	9	9	5	9	8	8	7	7,86
Rápida	9	9	7	7	8	7	6	7,57
<b>Recursos</b>								
Tecnológicos	8	3	7	6	4	8	6	6,00
Humanos	8	9	9	7	5	8	6	7,43
Tiempos	7	9	9	8	8	9	6	8,00
<b>Calidad de los datos</b>								
Fiabiles	8	7	8	8	4	6	7	6,86
Cuantificables	9	9	9	9	6	9	5	8,00
Contrastables	1	0	2	2	5	4	7	3,00
<b>Análisis</b>								
Multifuncional	8	9	9	9	6	8	6	7,86
Procesables	8	9	8	9	6	9	8	8,14
Longitudinal	8	9	9	9	6	5	8	7,71

Tabla D.4 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha LABEDI (I=Individuo)



## D.5 Métodos de análisis: El Proceso Analítico Jerárquico, ELECTRA y ARROW y RAYNAUD

### El Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Para aplicar este método es necesario que tanto los criterios como las alternativas se puedan estructurar de forma jerárquica, es decir, separar en diferentes niveles hasta llegar al máximo nivel que es el propósito general del problema. El número de criterios,  $n$ , y el de alternativas,  $m$ , es finito, y no tienen por qué coincidir. Además los criterios podrán ser a la vez subdivididos en tantos subcriterios como sean necesarios, no teniendo que coincidir el número de subcriterios de un criterio con el de otro criterio.

La Figura D.8 ilustra, resumidamente, el esquema de forma jerárquica establecida por el método AHP para el caso que nos ocupa. El propósito (Nivel 1) es decidir qué ficha es la que más se ajusta al perfil presentado de inspector en función de las seis características generales establecidas (Nivel 2), pudiendo elegir entre tres alternativas (Nivel 3), es decir, las fichas de campo que queremos comparar. Como se puede observar, en nuestro caso, los criterios están subdivididos en tres subcriterios, que corresponden a las características específicas para cada campo respectivamente.

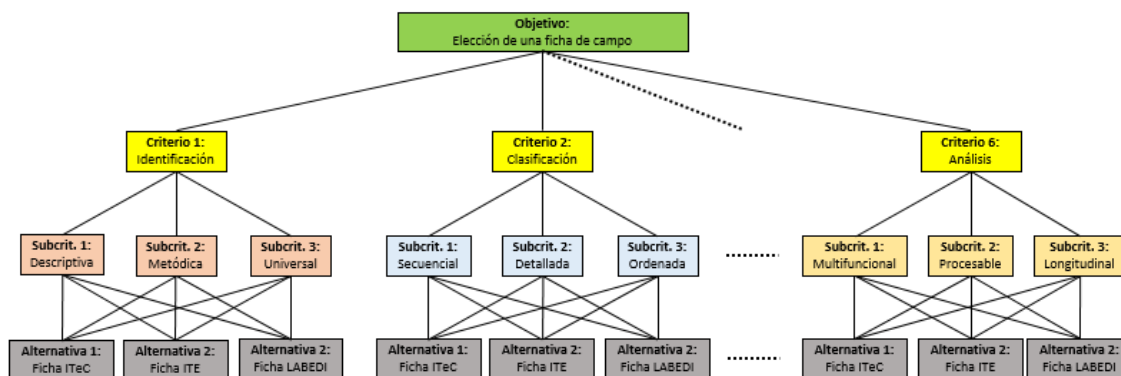


Figura D.8 Esquema del Método de Jerarquías

Una vez construida la estructura jerárquica se realiza la matriz de comparación pareada entre los distintos criterios y subcriterios. Para realizarlo de forma correcta es necesario establecer un “juicio de valores” o criterio de valoración mediante escalas cardinales, ordinales o nominales, o mediante la escala numérica del 1 al 9 propuesta por el propio Saaty (1980), pretendiendo comparar por parejas los diferentes criterios y alternativas. Es un ejercicio subjetivo, donde el decisor valora la preferencia o importancia de un criterio respecto a otro. Los valores presentados en el interior de la matriz son los pesos que tiene cada criterio en comparación con el otro. La matriz resultante es una matriz cuadrada, recíproca, positiva y con diagonal igual a 1, dado que el peso de un mismo criterio consigo mismo será siempre la unidad.

La Tabla D.5 ilustra la matriz de comparaciones pareadas para un ejemplo teórico, siendo  $r_i$  la valoración para el criterio  $i$ , para todo  $i = 1, \dots, n$ .

	Crit. 1	Crit. 2	Crit. 3	...	Crit. n	
Criterio 1	1	$r_1/r_2$	$r_1/r_3$	...	$r_1/r_n$	$\omega_1$
Criterio 2	$r_2/r_1$	1	$r_2/r_3$	...	$r_2/r_n$	$\omega_2$
Criterio 3	$r_3/r_1$	$r_3/r_2$	1	...	$r_3/r_n$	$\omega_3$
⋮	⋮	⋮	⋮	1	⋮	⋮
Criterio n	$r_n/r_1$	$r_n/r_2$	$r_n/r_3$	...	1	$\omega_n$

Tabla D.5 Matriz de comparación pareada de los criterios del Método AHP para un ejemplo teórico

Esta matriz permite el cálculo del vector principal de pesos de cada criterio, el cual describe de forma precisa las características de los juicios de valor considerados. El procedimiento para obtener el vector principal consiste en normalizar la matriz de comparación pareada y promediar cada fila. El promedio de cada fila corresponde al peso  $\omega_i$  del criterio  $i$ , y la suma de todos ellos debe ser igual a 1.

El siguiente paso comprende el análisis de las distintas alternativas, para ello se deben realizar tantas matrices de comparación pareadas como criterios tengamos. Y el procedimiento sería el mismo; normalizar la matriz y obtener el vector de pesos característicos de cada alternativa  $j$ ,  $\alpha_j$ , para cada criterio.

La Tabla D.6 ilustra la matriz de comparaciones pareadas de un ejemplo teórico, siendo  $a_j$  la valoración para la alternativa  $j$ , para todo  $j = 1, \dots, m$ , de un criterio  $i$ .

Criterio $i$	Alt. 1	Alt. 2	...	Alt. $m$	
Alternativa 1	1		...		$\alpha_1$
Alternativa 2		1	...		$\alpha_2$
⋮	⋮	⋮	1	⋮	⋮
Alternativa $m$			...	1	$\alpha_m$

Tabla D.6 Matriz de comparación pareada de las alternativas del Método AHP para un ejemplo teórico

Por último se sintetiza el resultado a partir del aporte relativo de cada alternativa a cada uno de los criterios, es decir, se calcula el peso global, que es el que decide cual es la mejor alternativa. Para obtener el peso global de cada alternativa,  $P_j$ , se sigue la fórmula siguiente:

$$P_j = \sum_{i=1}^n \alpha_j^i * \omega_i$$

La alternativa con mejor resultado es la que más cumple los criterios establecidos y por lo tanto la mejor de las alternativas propuestas.

Se debe tener en cuenta que el método AHP se inicia en el nivel inferior, en nuestro caso, por los subcriterios (características específicas de cada campo), sin embargo, no necesitamos recurrir a la construcción de la matriz de comparaciones apareadas, dado que poseemos de antemano el vector de pesos relativos para cada criterio.

La Tabla D.7 recoge los pesos relativos para todos los subcriterios de nuestro estudio de acuerdo a la Tabla D.1, y la nota media de cada uno de ellos para cada ficha individualmente, medida de escala que usamos para comprar las diferentes alternativas. La nota relativa de cada criterio para cada ficha de inspección (alternativa) corresponde a la suma del producto de cada peso relativo por la nota relativa al subcriterio.

Por ejemplo, siguiendo la Tabla D.7, vemos que la valoración del subcriterio "Descriptiva" del criterio "Identificación" para la ficha ITeC, es de 5,86, si esta nota la multiplicamos por su peso característico (0,3625), el resultado es 2,12. Si esto lo hacemos para los dos subcriterios del mismo criterio, y sumamos los resultados, obtenemos que la nota del campo "Identificación" para la ficha ITeC es de 5,95. Si esta operación la realizamos para cada subcriterio del criterio respectivo, obtendremos las seis notas respectivas a cada criterio para cada ficha de inspección que estamos comprando.

La Tabla D.8 contiene los pesos globales de cada criterio, establecidos acorde con la Tabla D.1 junto con las notas relativas a cada criterio para cada alternativa obtenidos en el paso anterior. Si operamos análogamente al paso anterior, obtenemos la nota global para cada ficha de inspección.

Nº	Subcriterios	% global	% parcial	Notas individuales			Valoración					
				ITeC	ITE	LABEDI	ITeC		ITE		LABEDI	
<b>1</b>	<b>Identificación</b>						ITeC		ITE		LABEDI	
1.1	Descriptiva	36,25	6,34	5,86	6,29	7,29	2,12		2,28		2,64	
1.2	Metódica	28,75	5,03	5,14	6,86	7,71	1,48	5,95	1,97	6,70	2,22	7,16
1.3	Universal	35,00	6,13	6,71	7,00	6,57	2,35		2,45		2,30	
		100	17,50									
<b>2</b>	<b>Clasificación</b>						ITeC		ITE		LABEDI	
2.1	Secuencial	36,25	5,89	4,71	6,29	7,43	1,71		2,28		2,69	
2.2	Detallada	35,00	5,69	4,57	5,86	7,57	1,60	4,87	2,05	6,14	2,65	7,56
2.3	Ordenada	28,75	4,67	5,43	6,29	7,71	1,56		1,81		2,22	
		100	16,25									
<b>3</b>	<b>Metodología</b>						ITeC		ITE		LABEDI	
3.1	Robusta	35,00	7,87	4,00	4,43	7,71	1,40		1,55		2,70	
3.2	Estándar	30,00	6,75	4,29	4,14	7,86	1,29	4,49	1,24	4,49	2,36	7,71
3.3	Rápida	35,00	7,87	5,14	4,86	7,57	1,80		1,70		2,65	
		100	22,50									
<b>4</b>	<b>Recursos</b>						ITeC		ITE		LABEDI	
4.1	Tecnológicos	25,00	2,87	5,86	5,43	6,00	1,47		1,36		1,50	
4.2	Humanos	35,00	4,03	6,00	4,14	7,43	2,10	5,97	1,45	4,92	2,60	7,30
4.3	Tiempos	40,00	4,60	6,00	5,29	8,00	2,40		2,12		3,20	
		100	11,25									
<b>5</b>	<b>Calidad datos</b>						ITeC		ITE		LABEDI	
5.1	Fiabiles	42,50	9,03	6,43	6,00	6,86	2,73		2,55		2,92	
5.2	Cuantificables	31,25	6,64	2,57	2,86	8,00	0,80	5,37	0,89	5,02	2,50	6,20
5.3	Contrastables	26,25	5,58	7,00	6,00	3,00	1,84		1,58		0,79	
		100	21,25									
<b>6</b>	<b>Análisis</b>						ITeC		ITE		LABEDI	
6.1	Multifuncional	26,25	2,95	5,00	5,14	7,86	1,31		1,35		2,06	
6.2	Procesables	41,25	4,64	3,29	3,00	8,14	1,36	3,97	1,24	3,89	3,36	7,93
6.3	Longitudinal	32,50	3,66	4,00	4,00	7,71	1,30		1,30		2,51	
		100	11,25									

Tabla D.7 Puntuaciones para las características específicas de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP

Nº	Subcriterios	%	Valoración			Valoración					
			ITeC	ITE	LABEDI	ITeC		ITE		LABEDI	
<b>1</b>	Identificación	17,50	5,95	6,70	7,16	1,04		1,17		1,25	
<b>2</b>	Clasificación	16,15	4,87	6,14	7,56	0,79		1,00		1,23	
<b>3</b>	Metodología	22,50	4,49	4,49	7,71	1,01		1,01		1,73	
<b>4</b>	Recursos	11,25	5,97	4,92	7,30	0,67	5,10	0,55	5,24	0,82	7,25
<b>5</b>	Calidad datos	21,25	5,37	5,02	6,20	1,14		1,07		1,32	
<b>6</b>	Análisis	11,25	3,97	3,89	7,93	0,45		0,44		0,89	
		100									

Tabla D.8 Puntuaciones para las características específicas de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP

## El Método ELECTRE II

El método Electre (*Elimination et Choix Traduisant la Réalité*) fue propuesto por [Benayoun et al. \(1966\)](#), y mejorado por el propio [Roy \(1971\)](#). Desde entonces ha sido modificado varias veces, existiendo, actualmente, seis versiones de este método: Electre I, II, III, IV, Tri e Is. La metodología en todos ellos, en general, involucra un análisis sistemático de las relaciones entre todos los pares posibles de alternativas, sobre la base de las evaluaciones que poseen las alternativas respecto de cada uno de los criterios. La metodología contempla la construcción de una relación de superación, la generación de índices de concordancia y discordancia (incluyendo la noción de importancia relativa para cada criterio) y un análisis de los resultados obtenidos de la evaluación completa de todas las relaciones de superación obtenidas.

En cada versión del método, las alternativas de decisión son evaluadas en términos de los criterios múltiples; siendo cada criterio una medida de las preferencias del decisor de acuerdo con algún punto de vista. La versión del modelo Electre que se debe emplear depende, esencialmente, de los tipos de criterios involucrados. La definición de estos criterios es, por lo tanto, de vital importancia y relevancia para la adecuada comprensión del método.

La versión Electre I utiliza criterios “verdaderos” o “reales”. Es la forma más sencilla de formular un criterio y se utiliza en aquellas estructuras de preferencia denominadas “tradicionales”. En ellas no deben determinarse umbrales y las diferencias entre las evaluaciones de los criterios se utilizan para decidir cuál es la alternativa preferida. Funciona por bipartición, es decir, divide el conjunto de las alternativas en dos subconjuntos; uno contiene las alternativas más favorables y el otro las peores. Su objetivo es, mediante el rechazo de los subconjuntos desfavorables, conseguir, al final, una única alternativa, que pasa a ser la alternativa más adecuada ante el propósito que se ha planteado al principio.

Las nuevas versiones del método Electre trabajan con pseudo-criterios incorporando así complejidad a las estructuras de preferencia, ya que se pretende mejorar la estructura de preorden.

El método Electre II, en particular, propone realizar un estudio de comparación entre las alternativas mediante un análisis entre los valores más grandes, iguales y las diferencias de puntuaciones de los más pequeños, presentando una ordenación de las alternativas desde la más favorable a la menos favorable, sin eliminar ninguna de ellas, diferencia esencial con el Electre I. Otra diferencia con el método Electre I es que éste, mediante el análisis de sobre clasificación, podría dar un empate o unos resultados similares entre dos o más alternativas, mientras que el Electre II no acepta empates. Esta versión es la más conocida y la más utilizada de los modelos de sobre clasificación, por este motivo es el segundo método que utilizaremos para comparar las tres fichas de inspección de edificios y determinar cuál de ellas es la que mejor se adapta a los criterios establecidos en ese trabajo.

Para empezar a utilizarlo, primero se debe construir una tabla donde aparezcan las alternativas (fichas de inspección), los criterios y sus pesos correspondientes para tenerlos de referencia en el momento de realizar los cálculos.

La Tabla D.9 muestra la matriz de alternativas junto a sus respectivas puntuaciones para cada criterio. Al poder existir la probabilidad de que los diferentes criterios tengan pesos variables entre ellos, se realiza una columna auxiliar que recoge el peso de cada criterio. La suma de todos ellos es 1.

Nº	Criterios	Alternativas			Peso (%)
<b>1</b>	<b>Identificación</b>	<b>ITeC</b>	<b>ITE</b>	<b>LABEDI</b>	
1.1	Descriptiva	5,86	6,29	7,29	6,340
1.2	Metódica	5,14	6,86	7,71	5,030
1.3	Universal	6,71	7,00	6,57	6,130
<b>2</b>	<b>Clasificación</b>	<b>ITeC</b>	<b>ITE</b>	<b>LABEDI</b>	
2.1	Secuencial	4,71	6,29	7,43	5,890
2.2	Detallada	4,57	5,86	7,57	5,690
2.3	Ordenada	5,43	6,29	7,71	4,670
<b>3</b>	<b>Metodología</b>	<b>ITeC</b>	<b>ITE</b>	<b>LABEDI</b>	
3.1	Robusta	4,00	4,43	7,71	7,875
3.2	Estándar	4,29	4,14	7,86	6,750
3.3	Rápida	5,14	4,86	7,57	7,875
<b>4</b>	<b>Recursos</b>	<b>ITeC</b>	<b>ITE</b>	<b>LABEDI</b>	
4.1	Tecnológicos	5,86	5,43	6,00	2,870
4.2	Humanos	6,00	4,14	7,43	4,030
4.3	Tiempos	6,00	5,29	8,00	4,600
<b>5</b>	<b>Calidad datos</b>	<b>ITeC</b>	<b>ITE</b>	<b>LABEDI</b>	
5.1	Fiabes	6,43	6,00	6,86	9,030
5.2	Cuantificables	2,57	2,86	8,00	6,640
5.3	Contrastables	7,00	6,00	3,00	5,580
<b>6</b>	<b>Análisis</b>	<b>ITeC</b>	<b>ITE</b>	<b>LABEDI</b>	
6.1	Multifuncional	5,00	5,14	7,86	2,950
6.2	Procesables	3,29	3,00	8,14	4,640
6.3	Longitudinal	4,00	4,00	7,71	3,660

Tabla D.9 Matriz de alternativas, criterios y pesos respectivos del Método Electre II

El siguiente paso es realizar una matriz de sobre clasificación, la cual permitirá hacer una primera selección de esas parejas de alternativas en que una es más fuerte que la otra. Esta matriz es

cuadrada, dado que se comparan las alternativas entre ellas, es positiva y la diagonal no tendrá valor, ya que no se puede comparar una alternativa consigo misma.

El valor de cada celda se obtiene de la división entre la suma de los pesos en que una alternativa tiene mejor puntuación que la otra y la suma de los pesos en que tiene peor puntuación.

La Tabla D.10 muestra los coeficientes atribuidos a los distintos pares de fichas de inspección objeto de estudio.

MATRIZ DE SOBRECASIFICACIÓN			
	ITeC	ITE	LABEDI
ITeC	-	0,89	0,13
ITE	1,13	-	0,13
LABEDI	7,56	7,56	-

Tabla D.10 Matriz de sobreclasificación del Método Electre II

Los valores superiores a la unidad representan que la alternativa correspondiente tiene mayor número de puntuaciones superiores a la alternativa con la cual se compara y serán, por lo tanto, los que siguen en el estudio, considerado que las otras parejas de alternativas que se comparan tienen valores despreciables como para seguir valorándolos. En nuestro caso, las parejas que se seguirán considerando serán las formadas por ITE-ITeC, LABEDI-ITeC y LABEDI-ITE.

Seguidamente se construye la matriz de concordancia para los pares de alternativas seleccionados en el paso anterior. Para ello se suman los pesos de los criterios en que la puntuación de la ficha que se compara respecto a la otra es superior o igual, y se divide por la totalidad de los pesos que pueden llegar a sumar.

La Tabla D.11 recoge los resultados obtenidos.

MATRIZ DE CONCORDANCIA			
	ITeC	ITE	LABEDI
ITeC	0	-	-
ITE	0,55	0	-
LABEDI	0,89	0,89	0

Tabla D.11 Matriz de concordancia del Método Electre II

Los valores más cercanos a la unidad indican el grado de superioridad que tiene una alternativa respecto a la otra. En este caso, la ficha del laboratorio de Edificación se acerca bastante a la unidad en ambas comparaciones, tanto en comparación con la ficha de ITeC como en comparación con la ficha de ITE.

No obstante, es necesario conocer el grado de desacuerdo, es decir, cuál es la máxima diferencia que existe entre las dos alternativas cuando la primera tiene un valor inferior. Los coeficientes se recogerán en la llamada matriz de discordancia. En este caso, el peso de los criterios no influye en el resultado que da la matriz, siendo éste el máximo de las diferencias existentes.

En la Tabla D.12 se expone el grado de desacuerdo entre el par de fichas de inspección seleccionadas previamente.

MATRIZ DE DISCORDANCIA			
	ITeC	ITE	LABEDI
ITeC	0	-	-
ITE	1,86	0	-
LABEDI	4	3	0

Tabla D.12 Matriz de discordancia del Método Electre II

Obtenidas las matrices de concordancia y discordancia el método Electre II pretende analizar la intensidad de la relación entre alternativas. Para poder realizar esta comparativa se propone definir tres niveles de concordancia,  $C_i$  para  $i = 1, 2, 3$ , ordenados tal que cumplan que  $1 \geq C_1 > C_2 > C_3 > 0$  y dos niveles de discordancia,  $D_j$ ,  $j = 1, 2$ , que dependerán de la anchura de la escala en la que se trabaja (valores obtenidos en la matriz de discordancia), ordenados tal que la *Amplitud de l'escala*  $> D_2 > D_1 \geq 0$ . Generalmente estos valores se harán coincidir con los valores obtenidos en las diferentes matrices de concordancia y discordancia.

Por las matrices anteriores, se establece que para nuestro caso, los valores son los siguientes:

$$C_1 = 0,89, \quad C_2 = 0,89 \text{ y } C_3 = 0,55$$

$$D_1 = 1,86, \quad D_2 = 3 \text{ y } D_3 = 4$$

A partir de estos coeficientes establecidos se crea la Tabla D.13 donde los valores óptimos que se intentan conseguir son el (1, 0). Según la situación donde se encuentren los pares de alternativas, se encuentran más lejanas o más cercanas de este punto óptimo. La zona pintada de gris es la zona conocida como sobre clasificación fuerte mientras que la que está sin pintar se le conoce como sobre clasificación débil.



0	1	0,89	0,55
1,86			ITE-ITeC
3		LABEDI-ITE	
4		LABEDI-ITeC	

Tabla D.13 Zona de sobre clasificación fuerte y sobre clasificación débil del método Electre II

Para determinar a qué zona pertenece cada par de alternativas, éstas se sitúan en función de los valores de concordancia y discordancia que se hayan obtenido en las matrices anteriores. La alternativa que encabeza la lista de clasificación es la formada por la ficha LABEDI- ITE ya que es la que se encuentra más dentro de la zona fuerte y es seguida por la LABEDI-ITeC que es la que se encuentra más cercana y, acabando con la pareja ITE-ITeC que es la que se encuentra más alejada del punto (0,1).

Para poder clasificar las diferentes fichas de inspección, se proponen las tablas de clasificación directa, inversa y media y, mediante la longitud del camino entrante y saliente, se miran las zonas fuertes de cada par seleccionado.

El camino entrante determina el número de caminos fuertes y débiles que le entra a cada alternativa. Una vez establecidos estos caminos se ordenan las alternativas adjudicando mejor puntuación aquella que tiene menor número de caminos fuertes.

De este modo, tal y como se recoge en la Tabla D.14, a la alternativa ITeC le entran dos caminos débiles, a la alternativa ITE le entra un camino fuerte y a la ficha LABEDI no le entra ningún camino, ni fuerte ni débil. Una vez determinados los caminos para cada alternativa, se puede establecer el orden para cada una de ellas. La alternativa que obtiene mejor puntuación es aquella que obtiene menos caminos fuertes.

Alternativas	Longitud del camino entrante	Clasificación
ITeC	0F y 2d	2º
ITE	1F	3º
LABEDI	0F	1º

Tabla D.14 Clasificación directa del Método Electre II

Como se puede observar, si sólo se sigue una única tabla, la ficha del Laboratorio de Edificación se encontraría en la mejor posición (es la que más cumple los criterios respecto las otras fichas), la ficha del ITeC se encontraría en segunda posición y la ITE sería la peor de todas.

A continuación se realiza la segunda tabla, la llamada tabla de clasificación inversa. En ella se las alternativas se clasifican en función de los caminos fuertes que salen de ellas, es decir, mirando las alternativas que son superiores a las otras. Por lo tanto, se valora como mejor alternativa aquella que emite más caminos fuertes.

La Tabla D.15 muestra la clasificación en función de los caminos fuertes para las tres fichas de inspección.

Alternativas	Longitud del camino saliente	Clasificación
ITeC	0F	3º
ITE	0F i 1d	2º
LABEDI	1F i 1d	1º

*Tabla D.15 Clasificación inversa del Método Electre II*

En este caso, la ficha LABEDI sigue manteniendo la primera opción, mientras que la ITE y la ITeC han pasado a ocupar el segundo y tercer puesto respectivamente.

Finalmente, dado que las tablas anteriores proporcionan resultados diferentes, la clasificación definitiva para cada alternativa se establece realizando la media entre clasificación obtenida en la tabla directa y la obtenida en la tabla inversa.

La Tabla D.16 recoge la clasificación final para cada ficha de inspección de edificios.

Alternativas	Clasificación directa	Clasificación indirecta	Clasificación Final
ITeC	2º	3º	?
ITE	3º	2º	?
LABEDI	1º	1º	1º

*Tabla D.16 Clasificación media del Método Electre II*

Obsérvese, que al realizar la media entre las clasificaciones anteriores existe un empate entre las alternativas ITE e ITeC. En estos casos se debe recurrir a la matriz de sobre clasificación (Tabla D.10) e identificar que ficha es mejor que la otra. En este caso la ITE tiene un valor de sobre clasificación superior a la unidad respecto a la de ITeC, indicando que es una alternativa mejor a escoger.

Por lo tanto, la clasificación que determina el método Electre II es la siguiente:

- 1º - Ficha del Laboratorio de Edificación (LABEDI)
- 2º - Ficha de Inspección Técnica de Edificios (ITE)
- 3º - Ficha propuesta por el Instituto Tecnológico de la Construcción (ITeC)

### EL Método axiomático de ARROW y RAYNAUD

Este método fue propuesto por [Arrow y Raynaud \(1986\)](#). Se basa en la utilización de un algoritmo de clasificación compatible con cinco axiomas de la teoría de la elección social. La aplicación de este método no sólo permite obtener la mejor alternativa, sino que, igual que el sistema Electre II, permite también obtener una escala de clasificación de las distintas alternativas en juego.

Los cinco axiomas que exponen [Arrow y Raynaud \(1986\)](#) que debe cumplir la regla de la elección son los siguientes:

- **Diversidad o Universalidad:** la regla de elección social debería crear un orden completo por cada posible conjunto de órdenes de preferencia individual, es decir, cada criterio debería ser una ordenación totalmente completa en un conjunto finito de alternativas.
- **Asociación positiva o monotonía:** La ordenación social responde de manera positiva a las variaciones de los valores individuales. En otras palabras, si un individuo modifica su orden de preferencia al promover una cierta opción, el orden de preferencia de la sociedad debe responder promoviendo esa misma opción o, a lo sumo, sin cambiarla, pero nunca degradándola.
- **Independencia de las alternativas irrelevantes:** La idea básica es la consistencia frente al conjunto de elección, buscando limitar la atención solo a las alternativas alcanzables. Por otra parte no hay lugar para comparaciones interpersonales de alternativas. Los cambios en la forma que un individuo ordene las alternativas “irrelevantes” no deberían tener impacto en el ordenamiento que haga la sociedad del conjunto “relevante”.
- **No imposición o criterio de Pareto débil:** Las elecciones sociales son determinadas por los deseos individuales. Si la alternativa A resulta socialmente preferida a la B, debe existir al menos un individuo para el cual A sea preferido a B, lo que implica que la regla no va contra el criterio de unanimidad.
- **Ausencia de dictadura:** la regla de elección social no se puede basar en las preferencias de un único individuo ignorando las de los demás.

El primer paso para aplicar el método es, al igual que con los otros dos métodos vistos, es tener toda la información relativa a las alternativas, criterios y los pesos respectivos recogida en una tabla o matriz. Como es la misma que la usada anteriormente, cogemos como referente la Tabla D.9.

A continuación se construye una matriz cuadrada en función del número de alternativas. El contenido de cada celda es la suma de todos los criterios en que una alternativa es mejor que la otra, sumándole, además, 0,5 por todos aquellos en que ambas alternativas tienen la misma puntuación para el mismo criterio.

Hay que tener en cuenta la escala del criterio estudiado, porque puede darse que una mejor valoración de un criterio signifique tener un valor pequeño, por ejemplo, la totalidad de un presupuesto o el impacto ambiental son criterios que cuanto menor valor tengan mejores serán.

La Tabla D.17 contiene las puntuaciones en que una alternativa tiene mayor o igual puntuación que aquella con la que se compara según el método Arrow y Raynaud.

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN			
	ITeC	ITE	LABEDI
ITeC	-	8,5	2
ITE	9,5	-	2
LABEDI	16	16	-

Tabla D.17 Matriz de clasificación del método Arrow y Raynaud

Como se puede observar, los máximos de cada alternativa y el mínimo de los máximos son:

$$\text{Max ITeC} = [8,5] \quad \text{Max ITE} = [9,5] \quad \text{Max LABEDI} = [16]$$

$$\text{Mínimo de los máximos} = \min [8,5 ; 9,5 ; 16] = 8,5$$

El mínimo de los máximos corresponde a la ficha ITeC, por ello, es la ficha peor valorada entre las tres comparadas y, por lo tanto, la primera en ser eliminada por el método Arrow y Raynaud, ocupando en el ranking de clasificación la última posición, es decir, la tercera.

Nótese, que en el caso que el valor mínimo de los máximos corresponda al valor máximo de dos o más alternativas a la vez, se eliminaría aquella que tuviera, en general, peor puntuación criterio a criterio.

La matriz anterior se modifica, eliminando la correspondiente fila y columna que ocupaba la alternativa eliminada, quedando como muestra la Tabla D.18.

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN		
	ITE	LABEDI
ITE	-	2
LABEDI	16	-

Tabla D.18 Matriz de clasificación del método Arrow y Raynaud modificada

De esta nueva matriz y análogamente al paso anterior, se calcula el máximo para las alternativas que siguen en el estudio comparativo, se obtiene el mínimo de los máximos, y se elimina la alternativa a la que corresponda ese valor, y así sucesivamente hasta obtener una matriz 1x1, que corresponderá a la alternativa mejor posicionadas entre todas las posibles.

En nuestro caso el máximo de las alternativas que siguen en el análisis son

$$\text{Max ITE} = [2] \quad \text{Max LABEDI} = [16]$$

y el mínimo de estos máximos es,

$$\text{Mínimo de los máximos} = \min [2 ; 16] = 2$$

Por lo que se elimina la ficha propuesta por ITE, ocupando la segunda peor posición del ranking de clasificación.

Dado que solo tenemos tres alternativas, la clasificación final por el método Arrow y Raynaud es la siguiente:

- 1º - Ficha del Laboratorio de Edificación (LABEDI)
- 2º - Ficha de Inspección Técnica de Edificios (ITE)
- 3º - Ficha propuesta por el Instituto Tecnológico de la Construcción (ITeC)

Como se puede ver, este método es el más sencillo de aplicar, dado que el mayor inconveniente es calcular la matriz inicial de la cual partirán las demás hasta llegar a la última, obteniendo la mejor alternativa.

## D.6 Fachadas seleccionadas para la prueba de fiabilidad de los datos

Revestimiento	Morfología de la fachada	Núm. Inspección	Situación		Año de construcción
			UTM	Dirección	
C O N T I N U O	P L A N A	FP/C_1	69968	C/ Àngel Guimerà, 92	1959
		FP/C_2	69968	C/ Àngel Guimerà, 94-96	1958
		FP/C_3	69968	C/ Uva, 6	1964
		FP/C_4	67988	C/ Pi i Maragall, 57	1955
		FP/C_5	68018	C/ Salvador, 26	1956
		FP/C_6	69986	C/ Comerç, 44	1928
		FP/C_7	69961	C/ Castelaio, 77	1958
		FP/C_8	69961	C/ Uva, 29	1957
		FP/C_9	66974	Avda. del Carrilet, 125-127	1967
		FP/C_10	69999	C/ Santiago Russinyol, 4	1941
	B A L C Ó N	FB/C_1	70914	C/ Castelaio, 196-198	1963
		FB/C_2	69968	C/ Àngel Guimerà, 98	1970
		FB/C_3	72012	C/ Santa Eulàlia, 42	1915
		FB/C_4	72012	C/ Santa Eulàlia, 48	1915
		FB/C_5	72001	C/ Santa Eulàlia, 49	1928
		FB/C_6	67992	C/ Castelaio, 8	1910
		FB/C_7	71993	C/ Santa Eulàlia, 83	1933
		FB/C_8	69973	C/ Àngel Guimerà, 49	1920
		FB/C_9	68975	C/ Àngel Guimerà, 72	1928
		FB/C_10	68959	C/ Pi i Maragall, 3	1969
	T R I B U N A	FT/C_1	68974	C/ Castelaio, 59-61	1962
		FT/C_2	68974	C/ Uva, 35	1932
		FT/C_3	69999	C/ Santa Eulàlia, 115	1948
		FT/C_4	69936	C/ Castelaio, 174	1955
		FT/C_5	67988	C/ Gasometre, 14	1969
		FT/C_6	69953	C/ Pi i Maragall, 24	1960
		FT/C_7	66974	C/ Clotet, 3	1965
		FT/C_8	66974	C/ Cooperativa, 7	1965
		FT/C_9	70932	C/ Igualtat, 28	1975
		FT/C_10	70946	C/ Blas Fernández Lirola, 18	1972
D I S C O N T I N U O	P L A N A	FP/D_1	69968	C/ Apresadora, 92	1962
		FP/D_2	70946	C/ Blas Fernández Lirola, 42-46	2006
		FP/D_3	70984	C/ Comerç, 39	1977
		FP/D_4	70941	C/ Castelaio, 121	1972
		FP/D_5	71993	C/ Jacint Verdaguer, 4	1962
		FP/D_6	69973	C/ Àngel Guimerà, 75	1965
		FP/D_7	70969	C/ Comerç, 78	1974
		FP/D_8	71993	C/ Pareto, 7	1890
		FP/D_9	67996	C/ Castelaio, 17	1960
		FP/D_10	68982	C/ Castelaio, 27	1970
	B A L C Ó N	FB/D_1	68972	C/ Castelaio, 62-64	1987
		FB/D_2	69953	C/ Castelaio, 130	1985
		FB/D_3	69973	C/ Àngel Guimerà, 83	1970
		FB/D_4	69968	C/ Mestre Carbó, 23-25	1977
		FB/D_5	70914	C/ Castelaio, 194	1978
		FB/D_6	68999	C/ Àngel Guimerà, 21	1915
		FB/D_7	67996	C/ Àngel Guimerà, 6-8	1995
		FB/D_8	70932	C/ Igualtat, 2-10	1992
		FB/D_9	70932	C/ Igualtat, 20-22	1984
		FB/D_10	70941	C/ Castelaio, 135	1980
	T R I B U N A	FT/D_1	71986	Avda. del Carrilet, 58	1976
		FT/D_2	67986	C/ Castelaio, 30	1970
		FT/D_3	67986	C/ Castelaio, 28	1970
		FT/D_4	71986	C/ Unió, 47	1968
		FT/D_5	69001	C/ General Prim, 1-9	1980
		FT/D_6	68972	C/ Castelaio, 74	1966
		FT/D_7	70003	C/ Santa Eulàlia, 114	1972
		FT/D_8	68959	C/ Pi i Maragall, 23	1972
		FT/D_9	70941	C/ Apresadora, 93	1974
		FT/D_10	70946	C/ Blas Fernández Lirola, 36-40	1981

# Anejo E

## CATÁLOGO DE MATERIALES





El catálogo de materiales se distribuye del mismo modo en el que se constituye la ficha de campo (Figura 4.13), e igual que se distribuyen las distintas tablas de atributos que almacenan la información manteniendo su identificación (B1, B2,..., B8) nombradas en el Capítulo 6.

En la Figura E.1 se puede identificar la tabla y elementos de fachada, junto a la casilla destinada al material y la de confirmación de su existencia. Por ejemplo, la información relacionada con el cuerpo de la fachada (paramentos zona baja o paramentos zona media) se almacena en la tabla B1, y por consiguiente, la información de los distintos elementos que se pueden encontrar en los huecos del cuerpo de la fachada (dinteles, jambas y antepechos) se almacena en la tabla B2.

<b>CARACTERÍSTICAS FACHADA</b>			
<b>DIRECCIÓN</b>		<b>Nº</b>	<b>FAC. Nº</b>
<b>B1</b>	<b>CUERPO</b>		
	PARAMENTOS-ZB		
	PARAMENTOS-ZM		
<b>B2</b>	<b>HUECOS</b>		
	DINTELES-ZB		
	JAMBAS-ZB		
	DINTELES-ZM		
	JAMBAS-ZM		
	ANTEPECHOS		
<b>B3_1</b>	<b>REVESTIMIENTOS</b>		
	<b>DISCONTINUO</b>		
	APLACADO-ZB		
<b>B3_2</b>	<b>CONTINUO</b>		
	REVOCO		
	ESTUCADO		
	ESGRAFIADO		
<b>B4</b>	<b>BARANDILLA DE CUBIERTA</b>		
	PARAMENTO-1		
	PARAMENTO-2		
	APLACADO		
	REVOCO		
<b>B5</b>	<b>CUERPOS SALIENTES</b>		
	<b>BALCONES</b>		
	LOSAS-1		
	LOSAS-2		
	CANTOS		
	BAJOBALCÓN		
	<b>BARANDILLAS</b>		
	PARAMENTO-1		
<b>B6</b>	PARAMENTO-2		
	APLACADO		
	REVOCO		
	REMA TE		
	<b>TRIBUNAS</b>		
	LOSA		
	CANTOS		
<b>B7_1</b>	BAJOTRIBUNA		
	PARAMENTO-1		
	PARAMENTO-2		
	APLACADO		
	REVOCO		
	ESTUCADO		
	ESGRAFIADO		
	ACABADO		
<b>B7_2</b>	<b>HUECOS</b>		
	DINTELES		
	JAMBAS		
	ANTEPECHOS		
<b>B8</b>	<b>OTROS ELEMENTOS</b>		
	ZÓCALO		
	MÉNSULAS		
	CORNISAS		
	ALEROS		
	PESCANTES		
	OTROS		

Figura E.1 Estructura de las tablas de catálogos a partir de la ficha de campo LABEDI

<b>Características fachadas / Característiques façanes / Facade characteristics</b>			
<b>Cuerpo</b> <i>Cos / Main body</i>	<b>Hueco</b> <i>Buits / Holes</i>		
<b>Paramentos_ZB</b> <i>Paraments_ZB / Wall_ZB</i>	<b>Dinteles_ZB</b> <i>Llindes_ZB / Lintel_ZB</i>	<b>Jambas_ZB</b> <i>Brancals_ZB/Jamb_ZB</i>	<b>Antepecho</b> <i>Ampits / Parapets</i>
<b>Paramentos_ZM</b> <i>Paraments_ZM / wall_ZM</i>	<b>Dinteles_ZM</b> <i>Llindes_ZM / Lintel_ZM</i>	<b>Jambas_ZM</b> <i>Bracals_ZM/Jamb_ZM</i>	
Fábrica de mampostería Fábrica de cerámica Fábrica de bloque Hormigón armado Muro cortina Madera Otros	Piedra natural Piedra artificial Fábrica de cerámica Hormigón armado Metálico Madera Mortero Otros	Piedra natural Piedra artificial Fábrica de cerámica Hormigón armado Metálico Madera Mortero Otros	Fábrica de mampostería Fábrica de cerámica Fábrica de bloque Hormigón armado Muro cortina Madera Otros

Tabla E.1 Catálogo de materiales para los elementos del cuerpo y huecos de la fachada

<b>Características fachadas / Característiques façanes / Facade characteristics</b>				
<b>Revestimiento Discontinuo</b> <i>Revestiment Discontinú / Coating Discontinuous</i>	<b>Revestimiento Continuo /</b> <i>Revestiment Continu / Coating Continuous</i>			
<b>Aplacado_ZB</b> <i>Aplacat_ZB / Tiling_ZB</i>	<b>Revoco</b> <i>Arrebossat / Plastered Mortar</i>	<b>Estucado</b> <i>Estucat / Stucco work</i>	<b>Esgrafiado</b> <i>Esgrafiat / Scratch work</i>	<b>Acabado</b> <i>Acabat / Finishing</i>
<b>Aplacado_ZM</b> <i>Aplacat_ZM / Tiling_ZM</i>				
Piedra natural Piedra artificial Cerámico Metálico Madera Otros	Mortero Monocapa Otros	Mortero de cal Otros	Mortero de cal Otros	Pintura Otros

Tabla E.1 Catálogo de materiales según el revestimiento

<b>Características fachadas / Característiques façanes / Facade characteristics</b>			
<b>Barandilla de cubierta / Barana de coberta / Deck railing</b>			
<b>Paramento_1</b> <i>Parament_1 / Wall_1</i>	<b>Aplacado</b> <i>Aplacat / Tiling</i>	<b>Revoco</b> <i>Arrebossat / Plastered Mortar</i>	<b>Remate</b> <i>Remat / Serif</i>
<b>Paramento_2</b> <i>Parament_2 / Wall_2</i>			
Fábrica de mampostería	Piedra natural	Mortero	Piedra natural
Fábrica de cerámica	Piedra artificial	Monocapa	Piedra artificial
Fábrica de bloque	Cerámico	Estucado	Fábrica de mampostería
Hormigón armado	Metálico	Otros	Fábrica de cerámica
Muro cortina	Madera		Cerámico
Madera	Otros		Metálico
Metálico			Madera
Otros			Otros

Tabla E.2 Catálogo de materiales para la barandilla de la cubierta

<b>Cuerpos salientes / Cossos sortints / Projecting bodies</b>		
<b>Balcones / Balcons / Balconies</b>		
<b>Losas_1</b> <i>Lloses_1 / Slab_1</i>	<b>Cantos</b> <i>Cantells / Edges</i>	<b>Bajobalcón</b> <i>Sotablocó / Under balcony</i>
<b>Losas_2</b> <i>Lloses_2 / Slab_2</i>		
Piedra natural	Piedra natural	Piedra natural
Piedra artificial	Aplacado piedra artificial	Aplacado piedra artificial
Vigueta metálica	Mortero	Mortero
Vigueta de hormigón	Metálico	Metálico
Vigueta cerámica	Monocapa	Monocapa
Vigueta madera	Aplacado metálico	Aplacado metálico
Cerámico	Aplacado cerámico	Aplacado cerámico
Mixto metálico + cerámico	Aplacado madera	Aplacado madera
Vigueta revestida	Otros	Otros
Losa de hormigón armado		
Estructura reticular		
Otros		

Tabla E.3 Catálogo de materiales para los elementos de los balcones

<b>Cuerpos salientes / Cossos sortints / Projecting bodies</b>			
<b>Barandillas / Baranes / Railing</b>			
<b>Paramento_1</b> <i>Parament_1 / Wall_1</i>	<b>Aplacado</b> <i>Aplacat / Tiling</i>	<b>Revoco</b> <i>Arrebossat / Plastered Mortar</i>	<b>Remate</b> <i>Remat / Serif</i>
<b>Paramento_2</b> <i>Parament_2 / Wall_2</i>			
Fábrica de mampostería	Piedra natural	Mortero	Piedra natural
Fábrica de cerámica	Piedra artificial	Monocapa	Piedra artificial
Fábrica de bloque	Cerámico	Otros	Cerámico
Hormigón armado	Metálico		Metálico
Muro cortina	Madera		Madera
Madera	Otros		Otros
Metálico			
Otros			

Tabla E.4 Catálogo de materiales para las barandillas de los balcones

<b>Cuerpos salientes / Cossos sortints / Projecting bodies</b>			
<b>Tribunas / Tribunes / Tribunes</b>			
<b>Losa</b> <i>Llosa / Slab</i>	<b>Cantos</b> <i>Cantells / Edges</i>	<b>Bajotribuna</b> <i>Sotatribuna / Under Tribune</i>	<b>Paramento_1</b> <i>Parament_1 / Wall_1</i>
			<b>Paramento_2</b> <i>Parament_2 / Wall_2</i>
Piedra natural	Piedra natural	Piedra natural	Fábrica de mampostería
Piedra artificial	Aplacado piedra artificial	Aplacado piedra artificial	Fábrica de cerámica
Vigueta metálica	Mortero	Mortero	Fábrica de bloque
Vigueta hormigón	Monocapa	Monocapa	Hormigón armado
Vigueta cerámica	Aplacado metálico	Aplacado metálico	Muro cortina
Vigueta de madera	Aplacado cerámico	Aplacado cerámico	Madera
Cerámico	Aplacado madera	Aplacado madera	Otros
Mixto metálico + cerámico	Metálico	Otros	
Losa de hormigón armado	Otros		
Estructura reticular			
Vigueta revestida			
Otros			

Tabla E.5 Catálogo de materiales para los elementos de las tribunas

<b>Cuerpos salientes / Cossos sortints / Projecting bodies</b>				
<b>Tribunas / Tribunes / Tribunes</b>				
<b>Aplacado</b> <i>Aplacat / Tiling</i>	<b>Revoco</b> <i>Arrebossat / Plastered Mortar</i>	<b>Estucado</b> <i>Estucat / Stucco Work</i>	<b>Esgrafiado</b> <i>Esgrafiat / Scratch Work</i>	<b>Acabado</b> <i>Acabat / Finishing</i>
Piedra natural	Mortero	Mortero de cal	Mortero de cal	Pintura
Piedra artificial	Monocapa	Otros	Otros	Otros
Cerámico	Otros			
Metálico				
Madera				
Otros				

Tabla E.6 Catálogo de materiales para el acabado de las tribunas

<b>Cuerpos salientes / Cossos sortints / Projecting bodies</b>		
<b>Tribunas / Tribunes / Tribunes</b>		
<b>Dinteles</b> <i>Llindes / Lintel</i>	<b>Jambas</b> <i>Brancals / Jamb</i>	<b>Antepecho</b> <i>Ampits / Parapets</i>
Piedra natural	Piedra natural	Fábrica de mampostería
Piedra artificial	Piedra artificial	Fábrica de cerámica
Fábrica de cerámica	Fábrica de cerámica	Fábrica de bloque
Hormigón armado	Hormigón armado	Hormigón armado
Metálico	Metálico	Muro cortina
Madera	Madera	Madera
Mortero	Mortero	Otros
Otros	Otros	

Tabla E.7 Catálogo de materiales para los elementos del hueco de las tribunas

<b>Cuerpos salientes / Cossos sortints / Projecting bodies</b>					
<b>Otros elementos / Altres elements / Other elements</b>					
<b>Zócalo</b> <i>Sòcol / Plinth</i>	<b>Ménsulas</b> <i>Mènsoles / Brackets</i>	<b>Cornisas</b> <i>Cornises / Ledges</i>	<b>Aleros</b> <i>Ràfecs / Eaves</i>	<b>Pescantes</b> <i>Pescants / Davits</i>	<b>Otros</b> <i>Altres / Others</i>
Monocapa	Piedra natural	Piedra natural	Piedra natural	Metálico	
Aplacado piedra natural	Piedra artificial	Piedra artificial	Vigueta metálica	Madera	
Aplacado piedra artificial	Mortero	Mortero	Vigueta hormigón	Otros	
Mortero	Cerámico	Cerámico	Vigueta cerámica		
Aplacado cerámico	Metálico	Metálico	Cerámico		
Aplacado madera	Hormigón armado	Hormigón armado	Madera		
Aplacado metálico	Otros	Otros	Metálico		
Otros			Hormigón armado		
			Otros		

Tabla E.8 Catálogo de materiales para los otros elementos de los cuerpos salientes

# Anejo F


## FUNCIONALIDAD Y MANUAL DE USUARIO DEL PLUGIN FAD 0.1





## F.1 Introducción

Se ha optado por proseguir trabajando dentro del entorno SIG con el software QGIS (QGIS Development Team, 2016), aprovechando el trabajo realizado. El uso de este software nos ha permitido desarrollar un aplicativo estadístico, que hemos denominado FAD 0.1 (*Followup and Decision*), mediante su implementación en Python (Rossum y Development Team, 2010), lenguaje con licencia de código abierto y orientado a objetos. El *plugin* FAD 0.1 permite la selección y el análisis de los datos de las distintas ciudades participantes en el laboratorio. En cuanto al análisis estadístico, y en particular al análisis de supervivencia, FAD 0.1 hace uso de librerías de R (R Core Team, 2012) para aprovechar el potencial del paquete de análisis y programación estadística. En este Anejo se explica la funcionalidad y el uso de la herramienta desarrollada, FAD 0.1.

Una vez instalados el software QGIS y las librerías necesarias para el uso del aplicativo desarrollado, al ejecutarlo se inicia la interfaz donde se pueden localizar las distintas barras de herramientas y complementos. El primer paso, antes de usar FAD 0.1, es cargar el archivo que contenga la capa vectorial (*shapefile*) con extensión *.shp* mediante la acción  (*add vector layer*).

La Figura F.1 ilustra la ventana para cargar la capa vectorial, en cuyo campo Fuente se especifica la ubicación del *shapefile* que se quiere utilizar, en nuestro caso FACHADAS.shp.

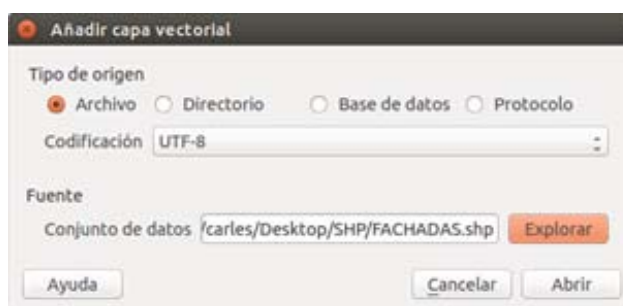





Figura F.1 Ventana para cargar el Shapefile del municipio en estudio

Acto seguido se debe preseleccionar, de forma parcial o total, la zona de estudio en la parte gráfica. La acción  permite realizar dicha selección sobre el territorio, de objetos espaciales, mediante un rectángulo gráfico de color amarillo. Para activar FAD 0.1, basta con ejecutar la acción , situado en la parte superior izquierda de la pantalla y se actualiza mediante la acción , situado en la parte superior derecha. En la Figura F.2 se ilustra la interfaz de QGIS después de cargar la capa vectorial y permite identificar las distintas acciones comentadas anteriormente.

FAD 0.1 se ha estructurado en tres módulos (*Preprocessing*, *Sample selection* y *Analysis*) que disponen de una interfaz común con un grupo de acciones y contadores que se pueden identificar

mediante tres pestañas situadas en la parte superior izquierda, como se puede observar en la Figura F.3, donde también aparecen en la zona derecha los contadores de la muestra seleccionada junto la acción *Plot sample*, que muestra gráficamente sobre el mapa del municipio de interés aquellas fachadas que están siendo seleccionadas, así como las acciones *Reset* y *Undo*, que permiten dirigirse a la selección origen sobre el fichero shape o a selecciones previas a la que se encuentra el usuario, respectivamente.

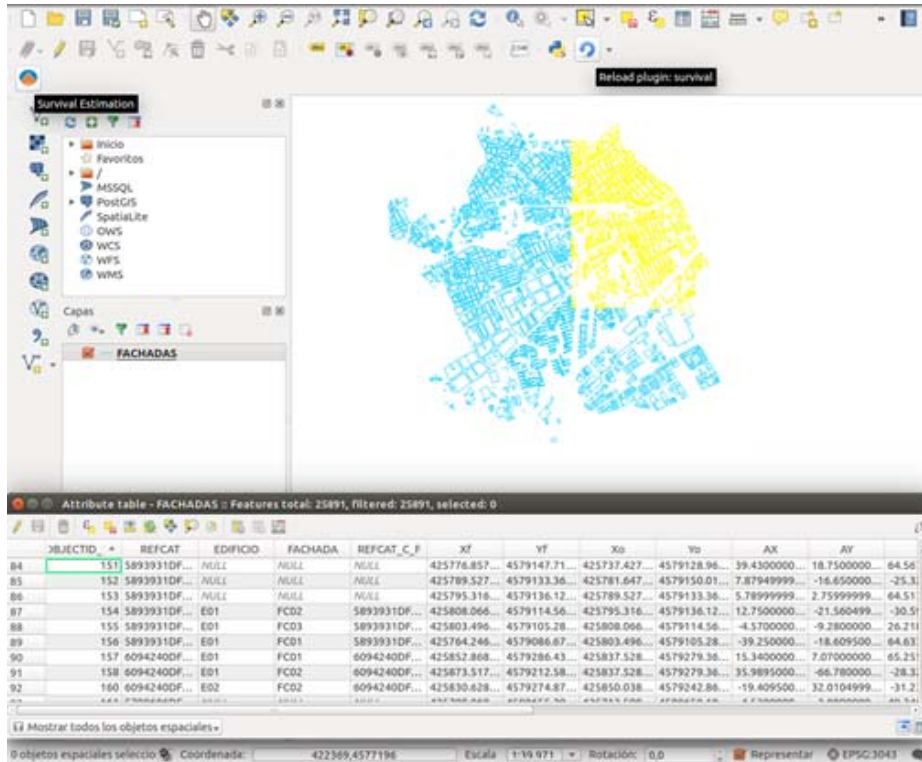


Figura F.2 Interfaz de QGIS

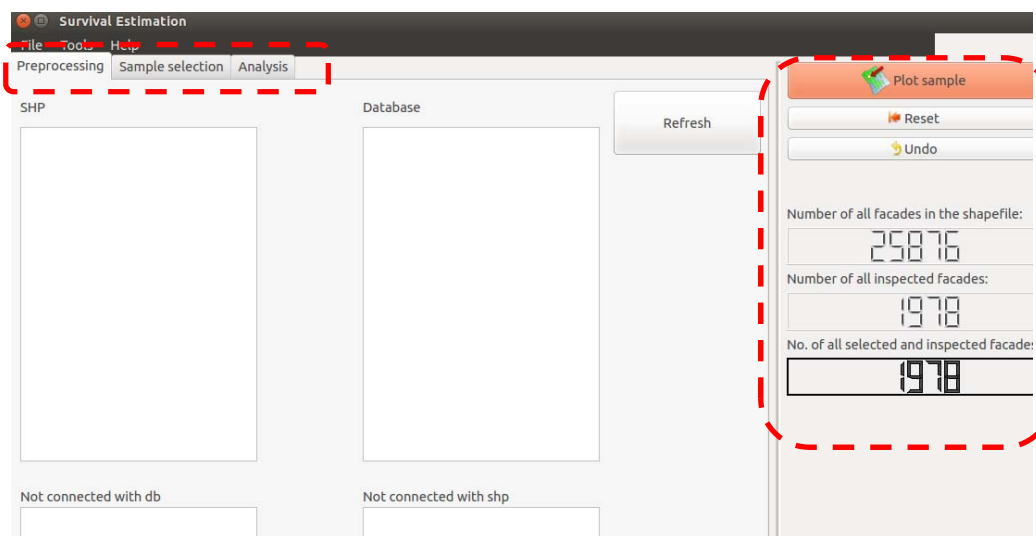


Figura F.3 Interfaz de FAD 0.1 con acciones comunes entre los distintos módulos

## F.2 El módulo de Pre-procesado

En el primer módulo de FAD 0.1, denominado *Preprocessing*, se realiza la validación de los datos procedentes del archivo gráfico (FACHADAS.shp) y de los propios de la base de datos (DATABASE.db) mostrándose en la misma pantalla las que no están conectadas entre sí. Por una parte, aquellas fachadas de las que solamente se posee información geográfica, pero no han sido inspeccionadas, y por lo tanto, no están contenidas en la base de datos alfa-numérica y, por otra parte aquellas fachadas que han sido inspeccionadas y, por lo tanto, poseen información almacenada en la DB, sin embargo, no poseen información en la capa vectorial. Para ejecutar la validación se ha programado la acción *Refresh*. La Figura F.4 Interfaz del módulo Preprocessing de FAD 0.1 ilustra la interfaz del módulo Pre-procesado, en la que se puede identificar las cuatro ventanas comentadas.

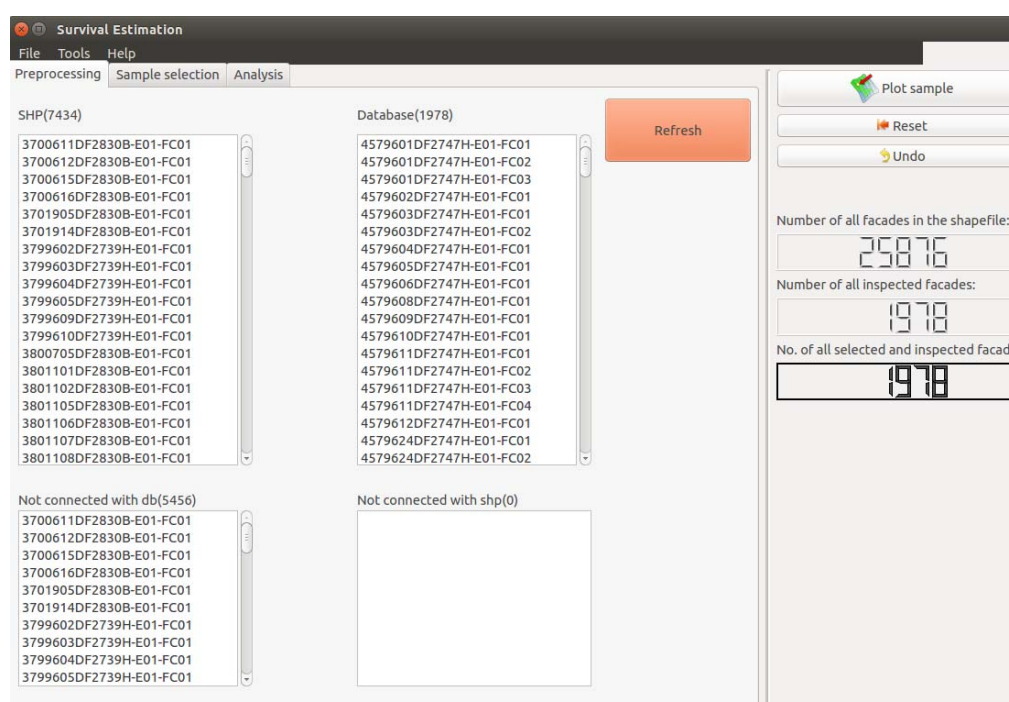


Figura F.4 Interfaz del módulo Preprocessing de FAD 0.1

Nótese que una situación ideal en un estudio a macroescala sería que las dos ventanas inferiores estuvieran vacías. Esto significaría que todas las referencias catastrales de todas las fachadas posibles a ser inspeccionadas han sido inspeccionadas.

## F.3 El módulo de Selección de la muestra

El segundo módulo de FAD 0.1 se ha desarrollado para permitir realizar una selección de la muestra que cumpla con los requisitos de interés que se determinen en el estudio y, a la vez, para visualizar gráficamente donde se ubican geográficamente las fachadas que se tengan seleccionadas.

En la Figura F.5 se puede identificar las ocho pestañas ( *Database*, *Territorial*, *Timeline*, *Parcel*, *Building*, *Facade*, *Elements* y *Failure* ), en la que se estructura el módulo de selección de la muestra de FAD 0.1, cuyas funcionalidades son las siguientes:

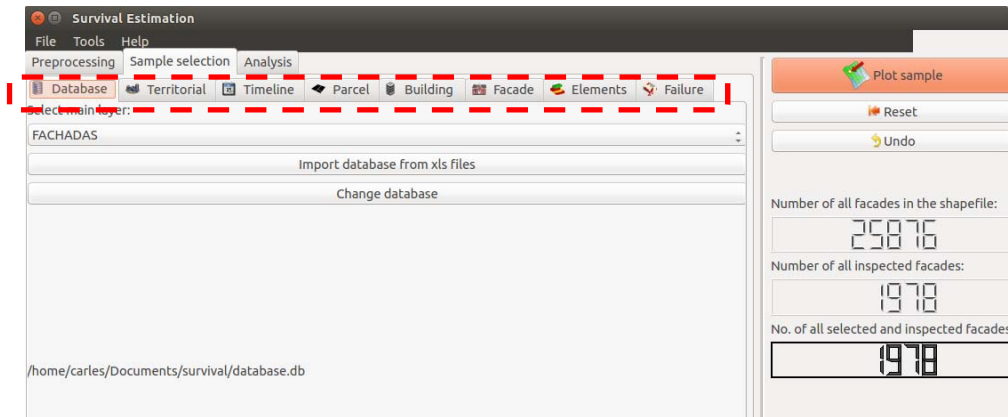


Figura F.5 Interfaz del módulo *Sample selection* de FAD 0.1

- **Database**, tiene tres funciones:
  - Seleccionar la capa principal, en nuestro caso FACHADAS.shp.
  - Importar nuevos archivos externos en formato Excel que alimentarán la DB existente.
  - Cambiar la DB en caso de disponer de más de una.

Al acceder a esta opción se activa la ventana que se ilustra en la Figura F.6 en la cual, en la parte superior se debe especificar la ubicación de los archivos Excel, y en la parte inferior se especifica el directorio donde se guardarán conjuntamente con los existentes en formato DB.

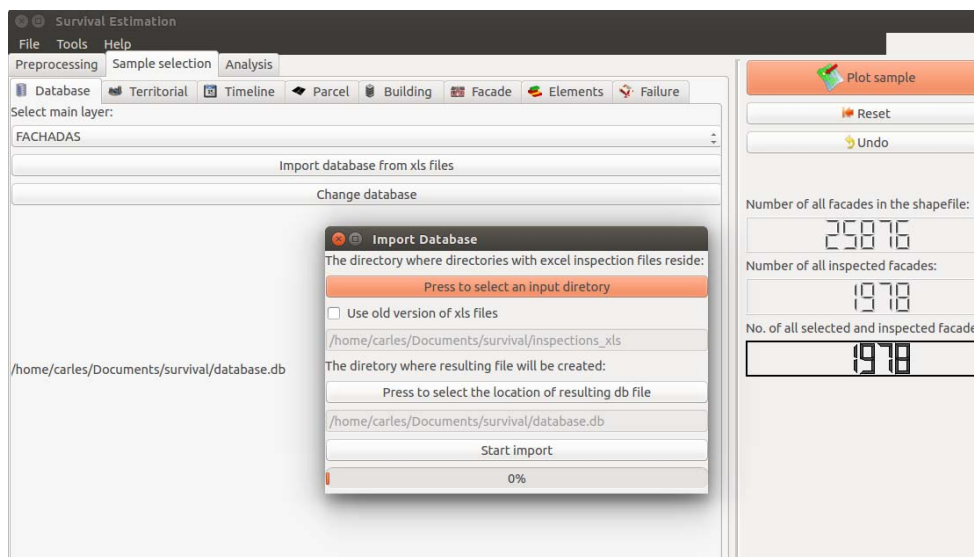


Figura F.6 Interfaz de *Database* del módulo *Sample selection* de FAD 0.1

- **Territorial**, es la primera pestaña del módulo de selección que permite realizar una selección a partir de parámetros territoriales, tales como: Orientación, o grados de impacto referentes a Contaminación, Lluvia, Viento o Radiación Solar.

La Figura F.7 ilustra la interfaz de la pestaña de selección mediante parámetros territoriales. Sirva esta ventana gráfica como ejemplo para entender el funcionamiento de las siguientes pestañas de selección, que se describe a continuación.

Cuando se realiza la preselección (*To buffer*), el aplicativo informa de la totalidad de fachadas que cumplen con los parámetros de interés, de manera que se puede decidir si el tamaño muestral es suficiente como para seguir estudiando el subconjunto de fachadas seleccionadas. En cualquier caso, una vez preseleccionadas las fachadas que se ajustan a los criterios específicos, la acción *Commit* selecciona, de forma única, las fachadas que cumplen alguno de los criterios y actualiza el panel de recuentos.

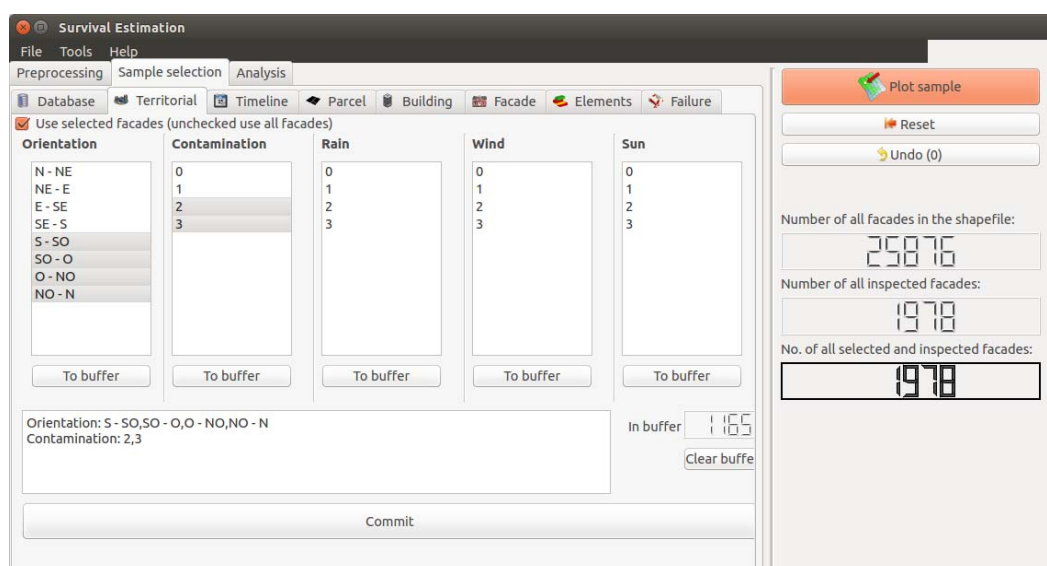


Figura F.7 Interfaz de Territorial del módulo Sample selection de FAD 0.1

Concretamente, en la Figura F.7 se están seleccionando aquellas fachadas orientadas al Oeste, comprendidas entre el Sud y el Norte, y las que tienen un grado de impacto medioambiental medio o alto de contaminación, pudiendo ser algunas de este segundo grupo las mismas que las seleccionadas en cuanto a orientación. En el contador *In buffer* se indican las fachadas respecto al total que cumplen como mínimo uno de los dos requisitos.

- **Timeline**, permite seleccionar aquellas fachadas contenidas en la base de datos que hayan sido construidas y/o inspeccionadas en un período de tiempo. Las selecciones son sucesivas, por lo que cuando se realiza una selección, las ventanas se actualizan, mostrando sólo aquellas fechas de la línea del tiempo de las fachadas que cumplen con los requisitos anteriores. La Figura F.8 ilustra la interfaz de esta pestaña del módulo de la

Selección de la muestra. En particular, la figura muestra la selección de aquellas fachadas construidas entre el año 1853 y 1910 (ambos incluidos).

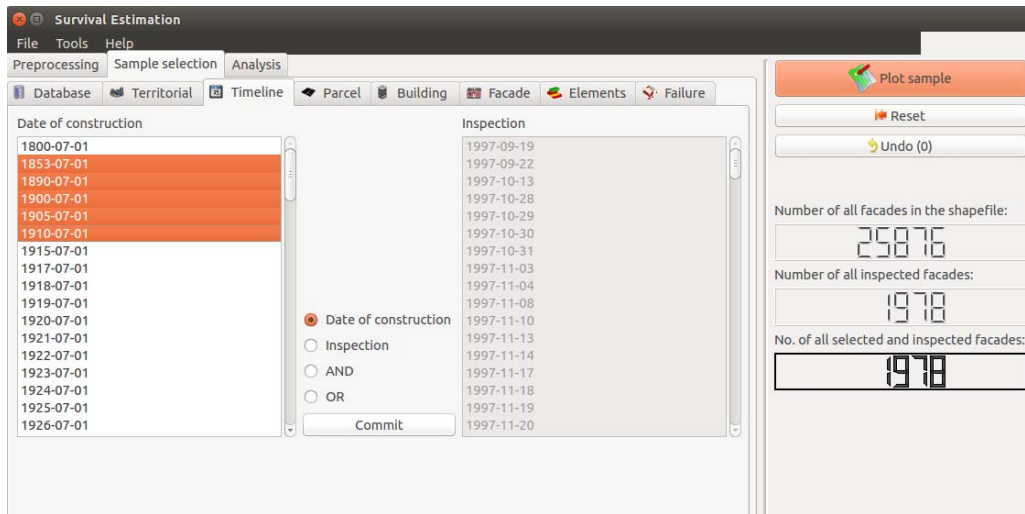


Figura F.8 Interfaz de Timeline del módulo Sample selection de FAD 0.1

- **Parcel**, permite realizar selecciones en función de parámetros relacionados con la parcela, tales como la referencia catastral del edificio que contiene la fachada, el municipio, el distrito, barrio, dirección y/o número de calle. La Figura F.9 ilustra la interfaz de la ventana gráfica de la pestaña Parcela, y en particular las opciones para realizar una selección a partir de los parámetros Distrito y Barrio.

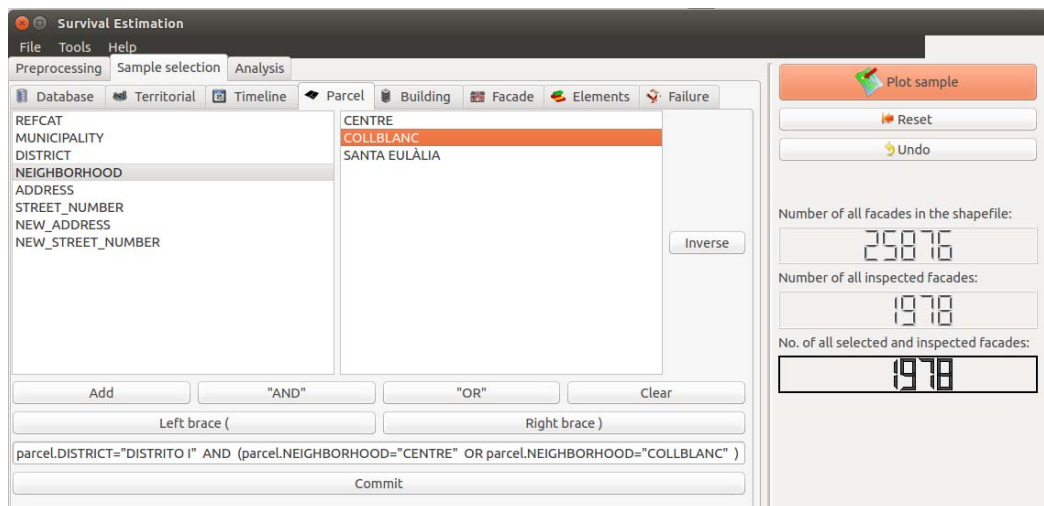


Figura F.9 Interfaz de Parcel del módulo Sample selection de FAD 0.1

Como se puede apreciar en la Figura F.9, el *plugin* permite y facilita la edición de consultas SQL, con funcionalidades como la selección automática (*Add*), los operadores lógicos de intersección (*AND*), unión (*OR*) o negación (*Inverse*), las prioridades con uso de paréntesis o la



reinicialización de la sintaxis de la consulta (*Clear*). En la barra de comandos se pueden visualizar todos estos procesos así como editar estas consultas o introducirlas de forma manual. Las fachadas preseleccionadas a partir de estas consultas quedarán seleccionadas mediante la acción *Commit*.

A modo de ilustración, en la Figura F.9 se están seleccionando aquellas fachadas que pertenecen al Distrito I y, son del barrio Centre o dell barrio Collblanc.

- **Building**, análogamente a las pestañas anteriores, ésta permite realizar una selección de las fachadas que cumplan con los requisitos específicos, en este caso, referentes al edificio. La Figura F.10 ilustra los posibles criterios de selección a partir del parámetro Tipo de Construcción, es decir, se puede optar por si las fachadas que interesa analizar deben de ser viviendas plurifamiliares y/o unifamiliares y/o aisladas y/o entre medianeras.

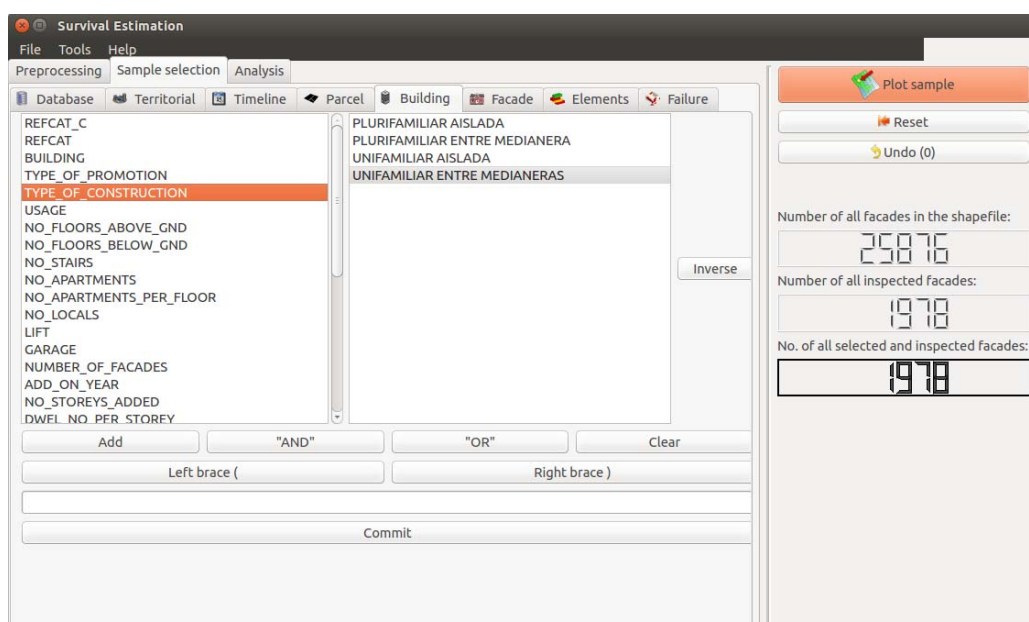


Figura F.10 Interfaz de *Building* del módulo *Sample selection* de FAD 0.1

- **Facade**, siguiendo la misma metodología, esta pestaña del módulo permite seleccionar las fachadas a analizar, en función de, por un lado, características del revestimiento, es decir, si su revestimiento es continuo y/o discontinuo, y por otro lado, de características morfológicas, es decir, si la fachada dispone o no, de balcón, tribuna u otros elementos. La Figura F.11 muestra una posible selección, así como las alternativas de combinaciones a realizar. En este caso, obsérvese que nos estaríamos interesando por el conjunto de fachadas que disponen de revestimiento continuo o no tienen revestimiento discontinuo, o que dispongan de tribunas o no tengan balcones, independientemente de que tengan, o no, otros elementos.

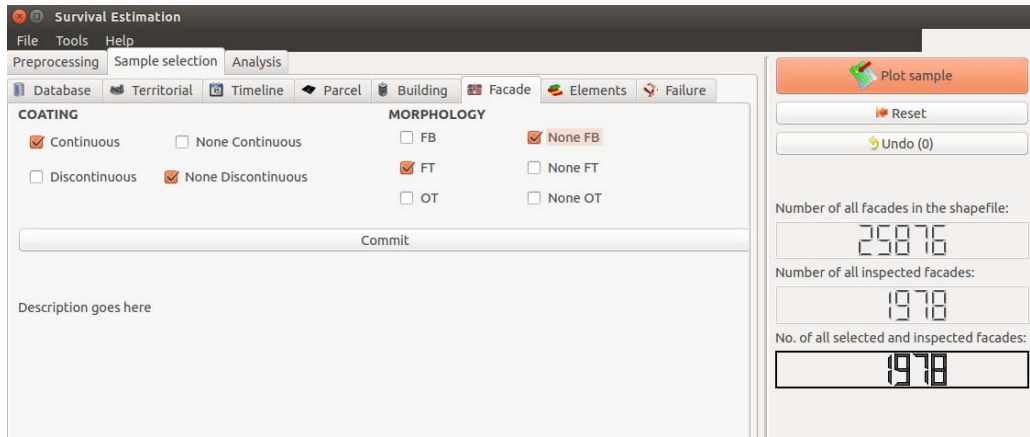


Figura F.11 Interfaz de Facade del módulo Sample selection de FAD 0.1

- **Elements**, permite seleccionar aquellas fachadas que cumplan con requisitos referentes a los elementos que componen la fachada. Para ello, se deberá seleccionar en qué parte de la fachada está el elemento de interés, cuál es el elemento de interés y de qué material es.

Recordemos, el diagrama de la estructura de la DB (Figura 6.23), en el cual se muestran las diez tablas que almacenan información referente a la fachada para saber exactamente donde se sitúa el elemento que interesa analizar. La Figura F.12 ilustra la interfaz de la pestaña *Elements*, en la cual se pueden observar, en la parte superior izquierda, el listado de las diez tablas referentes a información sobre la fachada, a su derecha el listado correspondiente a los elementos de la tabla seleccionada previamente, y en la parte inferior los materiales de dicho elemento.

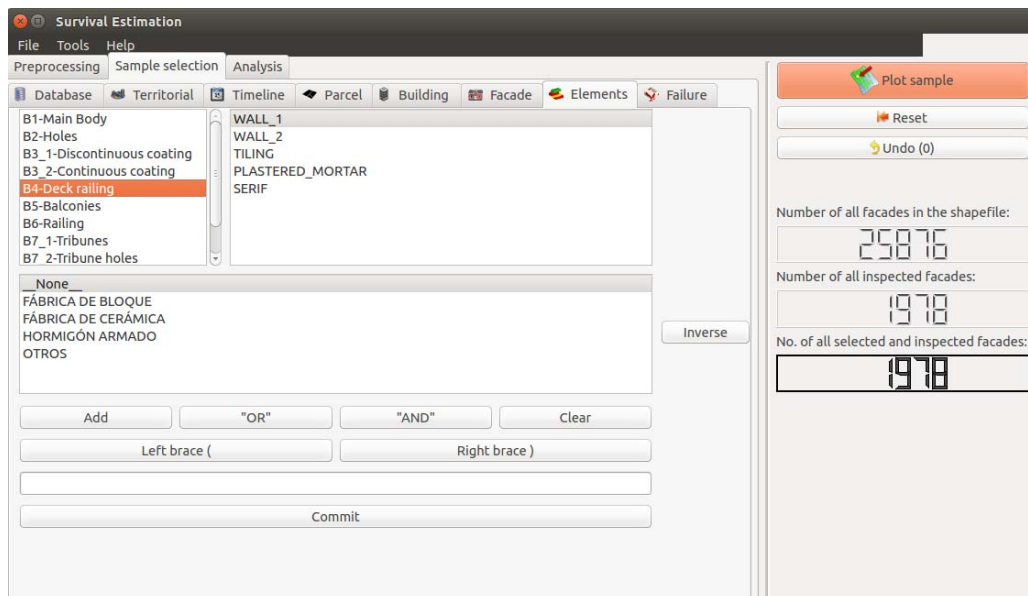


Figura F.12 Interfaz de Elements del módulo de Sample selection de FAD 0.1

- **Failure**, es la última pestaña del módulo de Selección de la muestra. Ésta permite al usuario seleccionar las fachadas que cumplan con requisitos referentes a lesiones, en función de



su magnitud y gravedad. Para ello, como en el caso anterior, el usuario debe indicar en qué zona y elemento de la fachada se encuentra la lesión así como la información específica de la lesión que se pretende filtrar ( *Type of damage, Extent, Severity* ).

La Figura F.13 ilustra la interfaz de la pestaña *Failure* del módulo de selección de la muestra de FAD 0.1. En la parte superior, debe indicarse la zona y el elemento de interés de la fachada y, en la parte inferior se indica el tipo de lesión, magnitud y gravedad de la lesión que debe tener la fachada para ser preseleccionada ( *To buffer* ) y, finalmente, seleccionada, de forma única, con la acción *Commit*. A modo de ejemplo, en la figura se realiza una selección sobre el elemento Paramento en la zona baja ( *WALL\_ZB* ) del cuerpo ( *B1-Main Body* ) de la fachada, seleccionando aquellas fachadas que en alguna inspección han mostrado una lesión de deformación ( *Type of damage: Deformation* ) con magnitud general ( *Extent: General* ) y gravedad 1 ( *Severity: Symptom* ).

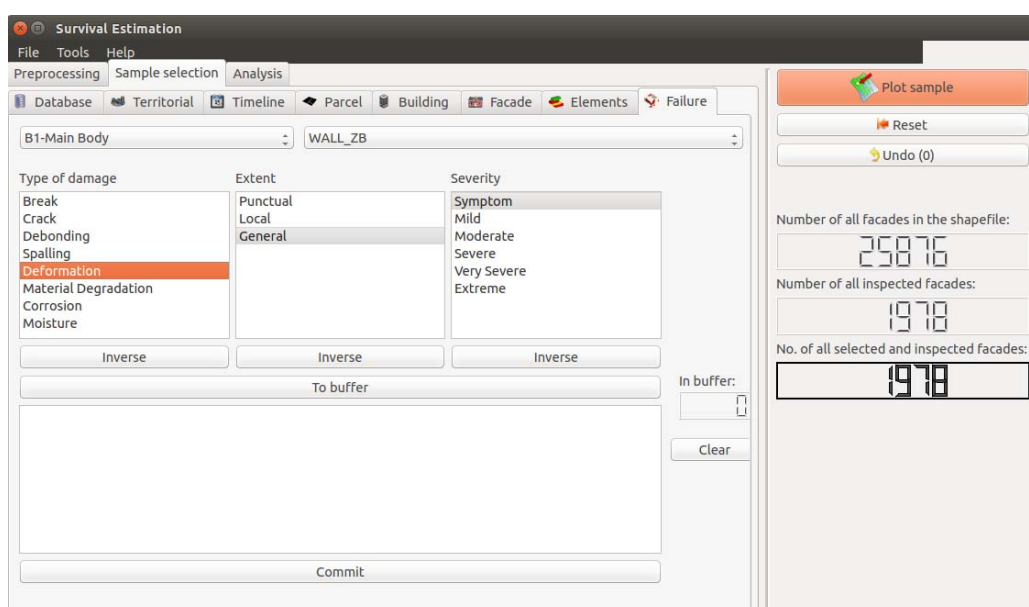


Figura F.13 Interfaz de Failure del módulo de Sample selection de FAD 0.1

Llegado a este punto, se dispone de la herramienta que permite seleccionar una muestra de interés, combinando distintos criterios referentes al frente urbano de la ciudad.

#### F.4 El módulo de Análisis

El último módulo de FAD 0.1 corresponde al análisis estadístico de los datos procedentes de la selección realizada en el módulo anterior. Éste consta de seis submódulos, independientes entre sí, aunque pensados para su ejecución sucesiva en un sentido de lo descriptivo a lo inferencial ( *Date of analysis, Descriptive, Survival, Test, Export to R y Simulation* ). Estos permiten describir estadísticamente la muestra seleccionada, realizar un análisis de supervivencia para estimar el tiempo hasta una lesión en un elemento de la fachada, establecer un modelo estadístico que

represente la evolución de la degradación de las fachadas durante su vida útil y, finalmente, realizar una simulación que nos permita representar sobre la ciudad la evolución de la degradación de las fachadas en un tiempo futuro.

Las funcionalidades de cada módulo se describen a continuación:

- **Date of analysis**, permite establecer la fecha de interés a partir de la cual se analizarán los datos, quedando excluida del estudio toda la información relacionada con inspecciones realizadas posteriormente a la fecha señalada. El valor por defecto es la fecha actual.

La Figura F.14 ilustra la interfaz del primer submódulo del módulo de Análisis de FAD 0.1. A modo de ejemplo, se establece como fecha de análisis el 30 de junio de 1999. La herramienta nos indica que, hasta dicha fecha, se dispone de información sobre 723 fachadas, que corresponden al 37,0% de la muestra seleccionada previamente (1956 fachadas).

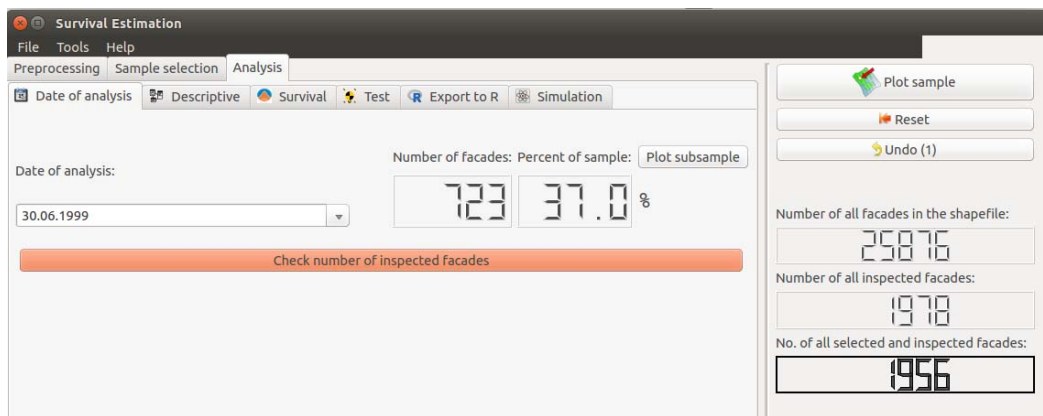


Figura F.14 Interfaz del submódulo Date of analysis del módulo Analysis de FAD 0.1

- **Descriptive**, permite describir estadísticamente cómo se encuentra el parque edificado a día de la fecha seleccionada en el submódulo anterior, en función de cuatro factores: la orientación de la fachada, el impacto medioambiental al que está expuesta la fachada y el índice de gravedad ponderada en función de las lesiones que pueden apreciarse en la fachada o en función de las partes que componen la fachada. Todos los resultados se resumen en una tabla, teniendo la opción de representarlos gráficamente.

La Figura F.15 ilustra la interfaz del submódulo *Descriptive*, en la que se puede identificar cada uno de los botones de acción correspondientes a las cuatro funciones que permite el submódulo.

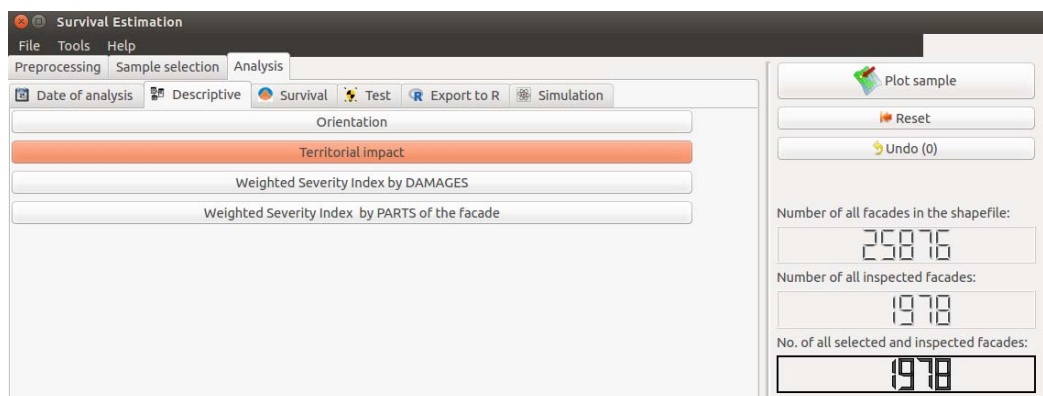


Figura F.15 Interfaz del submódulo Descriptive del módulo Analysis de FAD 0.1

- **Survival**, es uno de los submódulos más importantes de FAD 0.1. Con él se logra alcanzar uno de los objetivos planteados en el área de la metodología predictiva. A grandes rasgos, este submódulo permite estimar el tiempo hasta la aparición de una lesión determinada en un elemento en particular de la fachada de un edificio, definiendo el estado de la lesión por la magnitud o la gravedad de la misma. En concreto, se ha desarrollado una herramienta que aplica técnicas de análisis de supervivencia y permite estimar la función de supervivencia/durabilidad y la función de riesgo acumulado para el parque edificado en estudio. De manera equivalente, este submódulo permite obtener, por derivación numérica, la estimación de la función de riesgo, sólo evaluable en aquellos puntos (intervalos) donde ha sido posible estimar la probabilidad de fallo.

El submódulo de supervivencia también permite estimar el tiempo entre los estados de una lesión, es decir, por ejemplo, permite estudiar e inferir, para una lesión determinada, sobre el tiempo necesario para un cambio o evolución entre magnitudes (o gravedades) sucesivas. En otros términos, permite estudiar y predecir sobre la progresión entre lesiones.

Análogamente, el módulo permite definir y estudiar como lesión de interés una lesión combinada, entendiendo por lesión combinada aquella que acontece antes ( operador *OR* ) o después ( operador *AND* ) entre dos lesiones dadas. Por ejemplo, permite estimar la proporción del parque edificado que padecerá al cabo de cinco años una lesión de desprendimiento o de fisura en un cierto elemento de la fachada.

La Figura F.16 ilustra la interfaz del submódulo de supervivencia del módulo de Análisis de FAD 0.1. A modo de ejemplo, en este caso, queremos estimar la función de durabilidad para un evento único ( *Simple* ) que es la lesión Desprendimiento ( *Break* ) en el paramento de la zona baja ( *WALL\_ZB* ) del cuerpo principal ( *B1-Main Body* ) de una fachada en función de la magnitud ( *Extent* ).

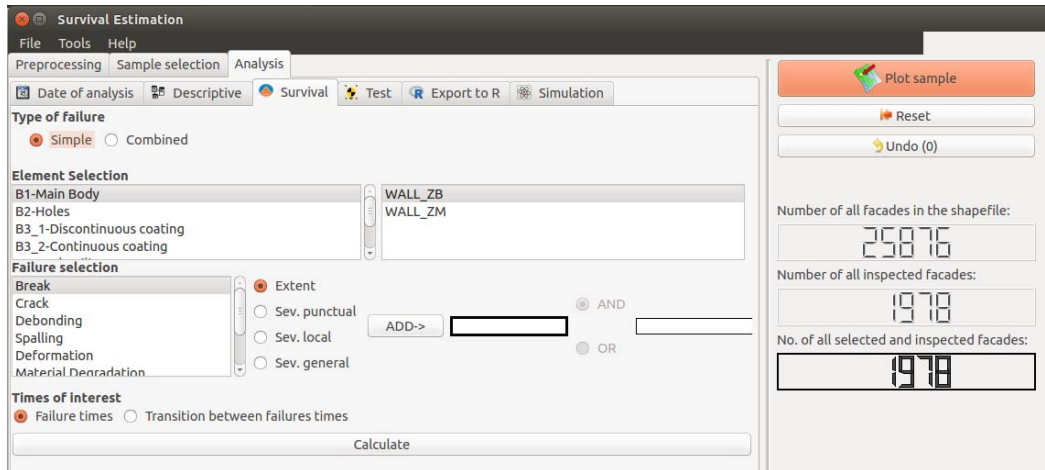


Figura F.16 Interfaz del submódulo Survival del módulo Analysis de FAD 0.1

- **Test**, este submódulo se ha pensado para que permita establecer un modelo estadístico que defina el comportamiento de la evolución de la degradación de las fachadas en un parque edificado en estudio para la lesión y análisis seleccionados en el submódulo anterior. La versión actual del *plugin* FAD 0.1, no tiene implementadas todas las funciones necesarias para ello, sin embargo genera un fichero de extensión *.txt* que permite ser exportado y analizado en el software estadístico R.

El fichero que se crea en el submódulo *Test* tiene extensión *.txt*, y contiene los extremos izquierdos y derechos de los intervalos de tiempo en el que ha sucedido, o sucederá, el evento de interés, así como al grupo al que pertenecen, útil para ser exportado a R y poder comparar los grupos existentes.

La Figura F.17 ilustra la interfaz del submódulo de test, en el que se puede identificar con que selección se está trabajando, se establece qué nivel de magnitud, o gravedad, es de interés y se especifica el grupo al que pertenece la selección, así como el nombre y la ruta del directorio en el que se guardará el archivo *.txt*.

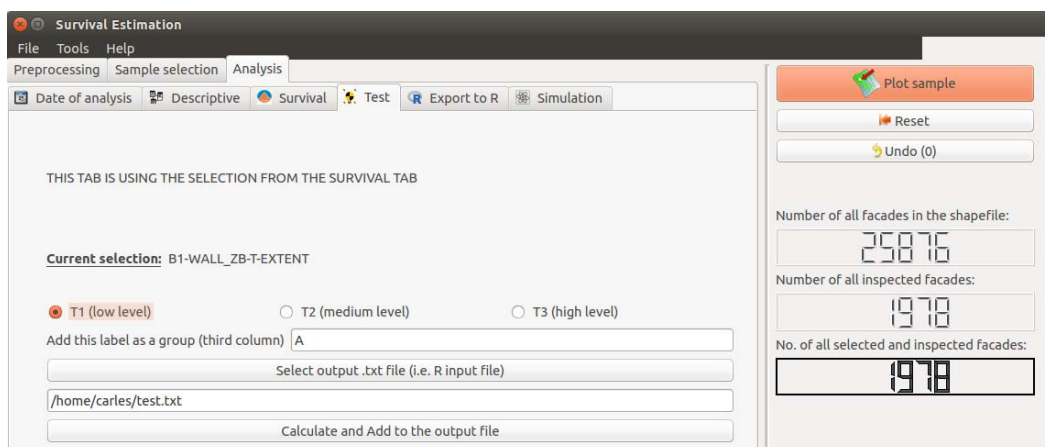


Figura F.17 Interfaz del submódulo Test del módulo Analysis de FAD 0.1

Siguiendo con el ejemplo ilustrativo de la Figura F.16, la Figura F.17 nos indica que el evento de interés es la lesión Desprendimiento ( *Break* ) en el paramento de la zona baja ( *WALL\_ZB* ) del cuerpo principal ( *B1-Main Body* ) de una fachada en función de la magnitud ( *Extent* ), y que la submuestra seleccionada se identifica como grupo A en el fichero de salida *test.txt* .

El fichero *.txt* generado en este submódulo es exportado al software R, en el que mediante la librería **FHtest** (Oller y Langohr, 2015) se comparan los distintos grupos de individuos, y se estima un modelo estadístico que describe el tiempo hasta la lesión en el elemento de interés de la fachada. En este sentido, a modo aplicado, el plugin permite, para una lesión y un elemento dados: a) Contrastar el nivel de significación de una variable explicativa, en otros términos, decidir si esa variable interviene significativamente en el proceso de aparición de la lesión y b) Estimar un modelo de durabilidad para la lesión considerad a partir de un conjunto de potenciales variables explicativas.

Los submódulos *Export to R* y *Simulation* no están implementados en esta versión 0.1 del plugin que acompaña la tesis y son objetivo de desarrollo para investigaciones futuras. En cuanto a la utilidad de exportación a R se prevee la preparación de un fichero de texto a partir de la selección de qué variables debe contener para su posterior tratamiento y análisis en R (o software análogo). Por otro lado, el submódulo de Simulación prevee representar el estado del parque edificado de interés en fechas futuras, previa predicción de la evolución de las fachadas con los datos analizados.



# Anejo G

## COMUNICACIONES EN CONGRESOS





Los contenidos y avances logrados dentro de la investigación no han generado artículos en revistas científicas con factor de impacto, sin embargo sus logros y discusión se han presentado en distintos Congresos Nacionales e Internacionales para su debate y la comunidad científica.

De forma destacada, reportamos las contribuciones en el International Conference on Durability of Building Materials and Components, congreso notable UPC, con la voluntad que sirvan de preludio de futuras publicaciones científicas.

Serrat, C. y Gibert, V. (2011). Survival analysis methodology for service life prediction and building maintenance. En *XII DBMC 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Porto (Portugal). 599-606

Gibert, V., Serrat, C. y Casas, J.R. (2014). Determination of criteria for the exploration and for obtaining indicators in evolution analysis of degradation in urban facades. En *Proceedings of the XIII DBMC 13th International Conference on Durability of Building Materials and Components*. São Paulo (Brasil). 656-663.

Serrat, C., Gibert, V., Casas, J.R. y Rapinski, J. (2017). BRAIN: Building Research Analysis and Information Network. En *XIV DBMC 14th International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Ghent (Belgium). *To appear*.

## G.1 XII DBMC



## Survival Analysis Methodology for Service Live Prediction and Building Maintenance

Carles Serrat <sup>1</sup>  
Vicenç Gibert <sup>2</sup>

### ABSTRACT

This paper deals with, on one hand, the introduction of survival analysis techniques for being used in building maintenance and, on the other hand, the application of this methodology for analyzing a large building stock in order to obtain information for maintenance strategies and/or prevention policies. In particular, in this contribution the description of the time to the event when the event of interest is some damage (or some level of degradation or extent) on the building façade is the main goal to reach.

For the time being, building follow-up is based on inspections. However, data coming from building inspections are always not completed, but censored, due to the fact that, at each inspection time, the event of interest is already happened, or not yet. In order to solve this problematic, the existing methodology for fields like medicine, biology, industrial engineering or event history analysis is adapted, and routines in S-PLUS for a numerical and graphical systematic analysis are implemented. Estimates for non-parametric durability and hazard functions are derived.

The possibilities of the proposed methodology will be illustrated with its application to the building façades in Hospitalet de Llobregat, the second most important city in population in Catalonia (Spain), where more than 14.000 buildings have been inspected. The analysis of the results allows technicians to detect different zones and levels of intervention to be applied in the city.

### KEYWORDS

Censored data, Durability, Maintenance, Nonparametric estimator, Survival analysis.

---

<sup>1</sup> Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona of Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Barcelona, SPAIN, [carles.serrat@upc.edu](mailto:carles.serrat@upc.edu)

<sup>2</sup> Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona of Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Barcelona, SPAIN, [vicenc.gibert@upc.edu](mailto:vicenc.gibert@upc.edu)

*C. Serrat and V. Gibert*

## 1 INTRODUCTION

The management of building maintenance is increasingly an important topic around the world, especially in recent decades, with the incorporation of tools to automate the tracking information and potential follow-up. From the social point of view it is illogical to leave without controlling the building stock. Moreover, if we take into account the high cost that the non-maintenance of buildings in appropriate good service conditions represents.

The primary objective of the study presented in this paper is that of establishing building maintenance policies based on maintenance criteria from which director plans are created that allow defining the which way maintenance actions are affected the built assets; no matter if the actions are at macro or micro urban level. This will allow establishing more consistent decisions in accordance with the findings of analytical reliable studies.

Throughout this process an important issue must not be overlooked: the methodology should enable generating a base of information and results on the historical evolution of the facades of buildings and their most relevant elements. This fact underlines the crucial role of future interventions and actions to be implemented with a scientific supported base. The sample size in this study was sufficiently large to contain all data needed to achieve the proposed targets to analyze the results and assess its impact without necessarily having to apply not provided corrective actions (what saves the corresponding extra costs that they represent).

## 2 STATE OF THE ART

In respect to buildings, the use of survival analysis techniques based on the statistical approach of a large sample size does not exist in the literature. First contributions dealing with building or civil maintenance issues appeared in the nineties and they are basically devoted to the prediction of the service life of materials of construction [Frohnsdorff 1996].

One of the first statistical approaches is the one proposed by Flourentzou *et al.* [2000]. They introduce MEDIC as a method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets. Predictions are based on the combination of prior probability coming from the experience from a large number of previous investigations/refurbishments and the current state of the subject (building) under study. The goal is to obtain a conditional probability of changing (to worse) between states, given the current state. However a drawback of this methodology is the fact that the deterioration process is described by stratifying it in four states, what is impossible to determine if we do not know the (a priori) true distribution of the time to deterioration. The relevance of having information about the survival functions of buildings or building elements have already pointed out by Buerger-Goodwin *et al.* [2005].

A different approach is found in Gaspar and de Brito [2003 & 2005]. The authors propose identification techniques for durability factors in order to predict service life of buildings or civil infrastructures. The same authors remark in the convenience of working with field data recollection techniques in order to assess the degradation level of a building element (in a facade, for example) in real life service conditions, in order to capture the effect on the deterioration process of the full complexity of the environmental context. In their work the estimation process at each time is based on an overall degradation level defined as a weighted average of specific degradation levels in several points in the moment of inspection, and performing a less squares cubic regression. It is obvious that this approach assumes that the time to event coincides with the inspection time; this is an unfeasible assumption. In fact, the resulting estimates for the deteriorating times are positively biased in an unknown quantity.

European guidelines for life time design and management of buildings can be found, among others, in the Project Cluster Lifetime by Sarja *et al.* [2005]. On the other hand, North American standards and

advanced methodologies for predicting service life of building materials and components can be found, for instance, in the references of the Institute for Research in Construction (Montreal, Canada) [Lacasse 2008]. In all these cases, guidelines represent relevant information in order to define the severity of the injuries, the states in the initiation and progression of the deteriorating process and the transitions between them.

### 3 INSPECTION AND ANALYSIS METHODOLOGIES

In what follows the methodology that has been used for the inspection process is introduced as well as the survival analysis techniques used for the data analysis.

#### 3.1 Inspection Methodology

The systematic inspection of façade elements is aimed at detecting risk factors for façades in order to later evaluate their condition and likely time to repair and refurbishment. To develop an inspection methodology and obtain homogeneous results for further analysis, criteria based on a standardization of the most significant indicators were established. In this sense a classification of buildings, building elements that make up the façades and their materials was completed, as well as a cataloguing of defects that may affect the façades, the severity of the defects and, finally, the extent, as follows:

- The characterization of the buildings was carried out by the location of the building, year of construction, construction typology, and so on.
- The characterization of the constructive elements of the façades was done by subdividing the body into two parts: corps of the façade and corps outgoing. Within them the elements that the façade may contain have been identified. For example, in the case of the body of the façade we find cladding, voids, coatings and deck railings, and for example, within the voids we find lintels, jambs and parapets. Finally, we have defined the materials that can be used for each element.
- The definition of defect has been established to include the most common defects that can affect façade elements. In particular, the following eight defects have been considered: breach, fissure, material degradation, deformation, dampness, oxidation, desunity (incompatibility?) and detachment.
- The classification of the severity of defects has been established in terms of the action that is necessary to remove the risk that it may represent for people. After taking into account the term of the corresponding preventative action the following apply: 0 = “low severity”, 1 = “intermediate severity” and 2 = “high severity”.
- The definition of the extension of the defects has been established according to the proportion of the inspected element that it is affected by the defect: punctual (when the defect affects an element less than a 25%), local (affects element between 25% and 50%) and general (when the affected zone is greater than a 50% of the element).

The model that systematizes the inspection process allows encoding and entering data in a computer application for the assessment and the management of the results, with an interface similar to the field sheets used in data collection. Fig. 1 shows two screens available from the application.

By using this software application, several descriptive indicators can be obtained, referred to the inspected sample that the user wishes to consult for the analysis. For example, the software allows obtaining, among others, the following descriptors:

- List of maximum severities affecting the façades of the sample.
- Location of elements affected by defects of a certain severity.
- Number of detected defects by specific type of construction element, for a particular choice of type of defect and severity.

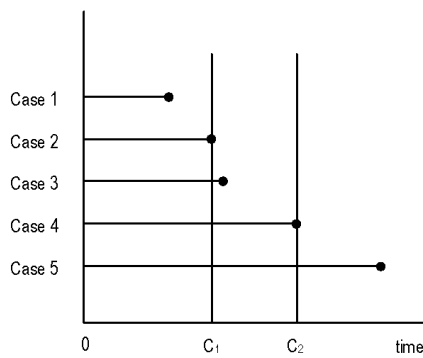


where the durability,  $R(t_1)$ , is the proportion of survivors at the moment  $t_1$  and  $[R(t_1) - R(t_2)]/R(t_1)$  represents the proportion of elements that, have not yet failed at time  $t_1$ , but fail in the interval of time  $[t_1, t_2]$ . When  $t_2$  tends to  $t_1$  the (instantaneous) hazard function at time  $t_1$  is given as:  $h(t_1) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} h(t_1, t_2)$ . It can be shown that  $h(t) = f(t)/R(t)$  and, in this sense, the hazard function measures the propensity to failure of the elements or statistical subjects as a function of time. If the cumulative hazard function,  $H(t)$ , is defined as  $H(t) = \int_0^t h(s) ds$ , then the relationship between the durability function and the cumulative hazard function is:

$$R(t) = e^{-H(t)} \quad (3)$$

### 3.2.2 Censorship Mechanism

If  $T$  is the true time until failure occurs and  $C_1$  denotes the time of an inspection event, then at time  $C_1$  there are two possibilities: that failure has already occurred and thus  $T < C_1$ , or; failure has yet to occur and  $T > C_1$ . So, as a consequence, for each object of interest on which an inspection is performed the exact time at which  $T$ , is observed is not likely possible, hence only a part of the information is obtained upon inspection.



**Figure 2.** Illustration of the censorship mechanism: a) At time  $C_1$ , case 1 is left censored, case 2 is exact observation and cases 3, 4 and 5 are right censored observations. b) With a second inspection time  $C_2$ , with  $C_1 < C_2$ , then the observed data would be left, right or interval censored as illustrated in Fig. 2. . In the current study only one inspection time was considered and so only left or right censored observations are dealt with.

In fact, if  $T < C_1$ , we only know that the true value of  $T$  is in the interval  $(0, C_1)$ , in this case the variable  $T$  is *left censored* and denote the observation by  $C_1^-$ . Otherwise, if  $T > C_1$ ,  $P(T \in (C_1, \infty)) = 1$  and that  $T$  is *right censored* and denote the observation by  $C_1^+$ . This is usual approach taken to categorise failure data in “durability” studies, and in this instance all data are either left or right censored. This is referred to as *current status data*. Note that if there is a second inspection time,  $C_2$ , with  $C_1 < C_2$ , then the observed data would be left, right or interval censored as illustrated in Fig. 2. . In the current study only one inspection time was considered and so only left or right censored observations are dealt with.

Concerning to the censorship mechanism it is important to assume a non-informative hypothesis, which is that the inspection time  $C$  is independent on the random variable of interest  $T$ . In general, when  $C$  is defined by design the non-informative hypothesis can be assumed.

### 3.2.3 A Non-Parametric Approach

Since there are no references on the distributions of failure times for the different defects and elements it follows that the durability function and the hazard function should be estimated non-parametrically. That is, estimates were only based on the data and no hypothetical (and non-testable)

*C. Serrat and V. Gibert*

distributions were assumed for the unknown density  $f$  of  $T$ . Kaplan and Meier [1958] proposed a non-parametric estimator, called product limit estimator, for the durability function in the case of right censored data. Turnbull [1976] extended the Kaplan-Meier estimator to the case of interval censored data. The Turnbull's estimator is an iterative algorithm that maximizes the non-parametric likelihood function

$$L = \prod_{i \in O} (F(o_i) - F(o_i^-)) \prod_{i \in R} (1 - F(r_i)) \prod_{i \in L} F(l_i) \prod_{i \in I} (F(r_i) - F(l_i)), \quad (4)$$

where  $O$ ,  $R$ ,  $L$  and  $I$  are, respectively, the subsets of exact, right-censored, left-censored and interval-censored observations. Turnbull's algorithm identifies the intervals where probabilistic mass can be estimated and the resulting durability and hazard functions derived.

### 3.2.4 Implementation of the Analysis Methodology

We have developed all the durability analysis methodology; a library containing routines and procedures for obtaining estimates for failure probabilities, durability and hazard functions and summary statistics tables, have been implemented in S-PLUS® (Insightful®).

## 4 ILLUSTRATION

### 4.1 Scope of the Project

The project and methodology presented in the previous section have been applied in several cities and locations, not only nationally in Spain but also internationally. Table 1 shows the location of inspections and the number of inspected façades.

Table 1. Scope of the project to date

Country	City	Location	Number of façades inspected
Spain	Barcelona	Ciutat Vella	2631
		L'Eixample	2736
	L'Hospitalet de Llobregat	Whole city	13193
France	Toulouse	Old Town	80
México	México DF	Casco Antiguo	525
Chile	Valparaíso	Zona de los Cerros	396
	Santiago de Chile	Casco Antiguo	1403

As an illustration of these techniques some results are presented of the software application to the inspection of L'Hospitalet de Llobregat (hereafter L'Hospitalet) in the metropolitan area of Barcelona.

### 4.2 About L'Hospitalet de Llobregat and the Dataset

L'Hospitalet has 266,973 inhabitants (Institute of Statistics of the city, 31 December, 2008). In Catalonia, it is the city having the second largest population and is among the twenty most populated cities in Spain. The municipality covers an area of 12.5 square kilometres between the towns of Barcelona, Esplugues, Cornellà and El Prat. Administratively L'Hospitalet is divided in 7 districts and 12 sectors.

### 4.3 Univariate and Multivariate Analyses by Severity and by Extent

Univariate analyses were first performed on failure times for all the defects according to the severity and extent criteria. Thereafter, multivariate analyses were performed. In this paper only the univariate analysis is presented.

With the aim of illustrating the capabilities of the software system and the merit of our proposal, a small sample of graphical and numerical results taken from a severity analysis is presented in this section. The durability function for jambs for which defects are characterised by the presence of fissures along the jamb is given in Fig. 3 and Table 2. Among other conclusions, one can determine that after 10 years, 5.2% of jambs will suffer a punctual fissure of low severity and 1.6% and 0.1% of jambs punctual fissures of intermediate and high severity, respectively.

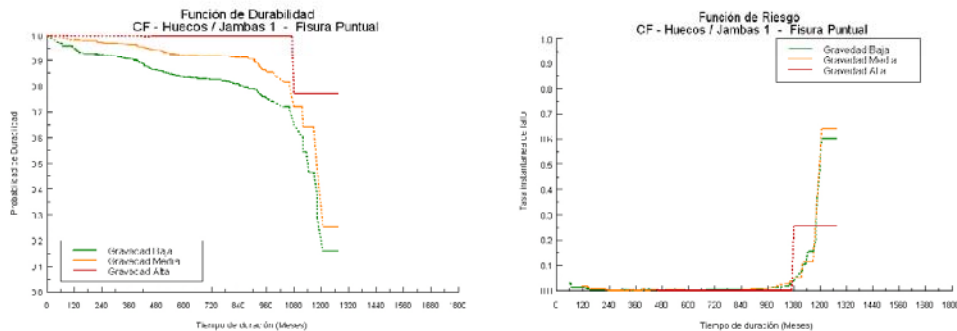


Figure 3. Durability and hazard functions for punctual fissure on the jambs (by severity level)

Table 2. Numerical results of the graphical analysis in Fig 3.

Number at risk	% of censoring		Estimated % of injuries				Years until a % of cumulative injuries				Cumulative % of injuries across the years			
	Left	Right	Initial	%	Final	%	10%	25%	50%	75%	10	25	50	100
2960	12.4	87.6	4.7	2.8	106.1	84.3	32.6	80.7	95.1	99.2	5.2	8.3	16.4	79.8
2960	5.3	94.7	9.5	1.6	106.1	74.7	75.7	89.5	98.4	--	1.6	3.0	7.9	66.9
2960	0.1	99.9	37.8	0.2	106.1	22.8	89.7	--	--	--	0.1	0.2	0.2	22.8

5 DISCUSSION AND FUTURE WORK

We have introduced a proposal for the use of “survival techniques” for building maintenance. As a probabilistic technique it allows estimating the failure distributions for all defects which may be of interest to a maintenance manager. Moreover, those characteristics which play (or not) a significant role in the product deterioration process can be tested. All this knowledge now allows an understanding of how the elements of the building envelope system functions, as well as how failures should be anticipated in service conditions as a consequence of aging, and especially how if indeed failures are anticipated, what preventive actions can be taken in-service. As well, it permits a viewpoint on what decisions need be taken at the design stage to help reduce anticipated defects and thus ensure the long-term performance (durability) of the building envelope.

The analysis platform that was developed and implemented becomes the basis for a continuous analysis in the future that will allow not only the design of maintenance strategies and prevention policies, these being based on economic and safety criteria, but also permit on-line decisions to be made.

We would like to provide information on two aspects for future development on which we are now working. Firstly, development of programming to achieve a more accurate inspection schedule. This will allow improvement of the quality of the data by reducing the proportion of censoring required or



C. Serrat and V. Gibert

replacing left or right censoring by interval censoring, the latter method being the preferred approach. Secondly, the interest of adjusting the resulting distributions to the covariates of interest in the sense we mentioned in Section 4.3, when we referred to the multivariate analysis. In many cases, the failure distribution will be sensitive to building conditions. It is the belief of the authors that both these development items will make the building maintenance strategy more efficient.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work has been partially supported by the School of Building Construction of Barcelona (EPSEB-UPC), by the Building Laboratory at EPSEB and by the Spanish Ministry of Science and Innovation under grant MTM2008-06747-C02-01. Special thanks are due to the City Hall and to the inhabitants of L'Hospitalet de Llobregat for their collaboration in data collection, to the authors of several Graduation Final Projects for their contribution to this work, and to the members of the IEMAE for their valuable comments and suggestions.

#### REFERENCES

- Buerger-Goodwin E., Ferrara C. & Bradley PE. 2005, "Survival functions of buildings and building elements", in Proceedings of the 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Elements. Lyon, France.
- Flourentzou F., Brandt C. & Wetzel C. 2000, "MEDIC, A method to predicting residual service life and refurbishment investment budgets", *Energy and Building* **31**, 167-170.
- Frohnsdorff GJC. 1996, "Predicting the Service Lives of Materials of Construction", in Proceedings of the Fourth Materials Engineering Conference. Chong KP. (ed), 38-53, American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, DC, USA.
- Gaspar PL. & de Brito J. 2005, "Assessment of the overall degradation level of an element, based on field data" in Proceedings of the 10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Elements. Lyon, France.
- Gaspar PL. & de Brito J. 2003, "Service Life Prediction: Identifying Independent Durability Factors", in Proceedings of the Second International Symposium for Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures. 319-324, ILCDES Kuopio, Helsinki, Finland.
- Kaplan EL. & Meier P. 1958, "Nonparametric estimation from incomplete observations", *Journal of the American Statistical Association*, **53**, 457-481.
- Klein JP. & Moeschberger ML. 1997, *Survival Analysis. Techniques for Censored and Truncated Data*. Springer, New York, USA.
- Lacasse MA. 2008, "Advances in service life prediction - an overview of durability and methods of service life prediction for non-structural building components" in Proceedings of the Annual Australasian Corrosion Association Conference. Wellington, New Zealand.
- Sarja A., Bamforth, Caccavelli and Chevalier JL. 2005, *European Guide for life time design and management of civil infrastructures and buildings*, Project Cluster Lifetime
- Turnbull BW. 1976, "The empirical distribution function with arbitrarily grouped, censored and truncated data", *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, **38** (3), 290-295.

## G.2 XIII DBMC

XIII Conference on Durability of Building Materials and Components

### **DETERMINATION OF CRITERIA FOR THE EXPLORATION AND FOR OBTAINING INDICATORS IN EVOLUTIONAL ANALYSIS OF DEGRADATION IN URBAN FACADES**

**Gibert, V.<sup>(1)</sup>, Serrat, C.<sup>(2)</sup> and Casas, J. R.<sup>(3)</sup>**

- <sup>(1)</sup> Dept of Architectural Technology II, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Barcelona – vicenc.gibert@upc.edu
- <sup>(2)</sup> Dept of Applied Mathematics I, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Barcelona – carles.serrat@upc.edu
- <sup>(3)</sup> Dept of Construction Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Barcelona – joan.ramon.casas@upc.edu

#### **ABSTRACT**

The interest of this research is motivated by the huge constructive development in the building sector, which has led to an enormous volume of buildings worldwide over the last decades. This fact, as well as poor management in conservation of buildings, mainly in urban cities, has led to total degradation situations on the facades of building stocks. To infer on the evolutional process of degradation that occurs in the facade, during its service life and based on the information obtained from inspections, the method for the data analysis (e.g. survival analysis techniques) is as important as the truthfulness and usefulness of the data collected on the subjects (facades) under study.

In this paper we propose a method based on the design of indicators for prospecting and global data collection on the injury state of the inspected facades. The method analyzes how to perform the identification, classification, methodology, resources and quality of the data in order to be reliable, testable and measurable. The proposed model enables the macro inspection and monitoring of large-scale urban zones and the data obtained allow the researcher to understand and manage the predictive degradation phenomenon and, in turn, eliminate potential risks in the urban front.

**Keywords:** Criteria validation, Data collection, Durability indicators, Inspection methodology, Risk analysis, Service life estimation.

#### **1 INTRODUCTION AND STATE OF THE ART**

In relation to the acceleration of the process of urbanisation and construction in recent decades in most big cities, the debate on the conservation and maintenance of the built environment is open. In addition, questions about how to articulate conservation measures in the construction sector are discussed. This is an important issue because the measures affect significant sustainable positioning for the future of the cities and their metropolitan areas. This research focused on the real evolution of the degradation of the facades of residential buildings, within their service life, regarded as a part of the fronts of the urban space of the cities, in which lies a great burden of media and social coverage.

Surely all decisions of intervention need, as a preliminary condition, of having as much good information as possible, therefore we need to determine what criteria and what indicators are needed to establish the evolutionary analysis of the degradation of urban

facades. This paper shows a massive inspection methodology, with the aim of finding the optimal information to facilitate future statistical studies of durability and survival for each one of the construction processes of the urban front.

As a result, and despite the existence of some important experiences at different scales in the building sector [1], the methodology we are going to develop here is unique because it pursues the analysis of samples of study much larger and that force you to the application of multi-scale techniques. The methodology of inspection that pose to display a model designed for the control of the durability of urban facades, depending on the risk of an injury that these represent. It is scheduled for a data collection setting, wide, generalist, robust, and aimed at the whole population, and it makes easier the use of specific algorithms. This will give us a better understanding of what happens to the facades throughout its service life. Through this method it will be possible to propose preventive actions for the future within a territorial approach on a large scale.

The proposal raises field datasheets that collect all those parameters that contain relevant indicators for each of the subdivisions, in which each facade has been divided. However the interest focuses, on one hand, on the degree of accuracy of the resulting information coming from the data and, on the other hand, on the reliability of the methodology of inspection regarding the state of degradation of the facade elements.

Therefore one of the concerns of the proposal consisted in observing patterns of urban growth, as well as those that define the city considered as a part of a comprehensive system with certain hierarchies that mark the interconnections between them [2]. The description of the study scale in order to analyze different magnitudes of samples, has been defined by various researchers as the microscale, mesoscale and macroscale [1, 3 and 4]. On the basis of this classification, the concept of multiscale studies arises -in order to provide a better understanding by the up-and-down flow of the information available between different scales. An example of a multiscale study is conducted by Gluch *et al.* (2006) [3], in which a thermic analysis is created in order to better understanding the urban microclimate. Other authors apply their representations of the atmospheric environment in urban areas by reducing the regional scale to a city scale, using computational models [4]. The effects from mesoscale to microscale and vice versa were discussed by the authors and they concluded that, in a general sense, the scalar interaction can play an important role in all directions.

In our opinion, all method aimed at permitting broad inspections, in this case the building facades, must be able to show a clear traceability towards the aimed result, allowing the adjustment of the parameters through the use of decision making techniques, such as the comparative techniques of analytic hierarchies (AHP) [5], ELECTRA [6] or the axiomatic method by Raynaud and Arrow [7].

One of the studies in urban scales, even though they are rare among the scientific community, is made by Mendes da Silva *et al.* (2010) [8] for the old town buildings of Coimbra (Portugal). The project focuses on the concerns of the conservation of the existing heritage. It also shows how to develop a platform for management of the park, aimed to the achievement of the social and economic improvement of the area. To carry out the study, it was necessary to understand that the process of improvement could not be sustainable without a prior vulnerability and risk assessment of the state of the buildings. The data could be implemented using a multi-purpose tool, connected to a relational database within a Geographic Information System. The methodology that they apply is practical and flexible, and it allows a multidisciplinary management, in addition to the potential applicability to other areas, cities and buildings just introducing some slight adjustments of the parameters. Another study that focused on the durability of buildings on a urban scale, is the methodology



of evaluation introduced by Rodrigues *et al.* (2011) [9], which is based on the premises that the mechanisms of deterioration are the consequences of the interaction of two independent variables: the building, such as a physical object, and the environment, as a source of agents of acceleration of the deterioration process. The methodology has allowed the development of tools to support the systematic study of visual defects in the bound of the buildings. The matrix designed by the authors for the visual observation extends the application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) techniques for the qualitative analysis of risks, and it represents an important guideline for the design teams.

## 2 MODEL PROPOSAL

This section develops the methodology in order to perform the analysis of the whole building park at a macroscale level. The model defines the criteria to be taken into account when creating an inspection tool, through the creation of strategic indicators and their respective weights of importance, aiming to develop a standard inspection sheet. The structure of the proposed tool optimizes the information collected in the field, considering the elements of observation and his condition.

### 2.1 A network of urban laboratories approach

To define the boundary conditions under which this methodology has been designed to inspect heterogeneous samples of urban facades, we start from the conceptual and operational idea that the territory under study is subscribed inside the are delimited by the perimeter of the limits of the urban area of the city. This territorial space is what we call "urban laboratory" with the clear aim of being a centre of operations and strategies that allows us to link the experiences acquired with other urban laboratories, thus creating a collaborative knowledge framework for sharing predictive formulas of conservation and sustainable maintenance strategies of the urban front.

### 2.2 Durability goals

In the building sector there is no proven information to determine what is the evolution of the degradation of the facades over time, in terms of use and their exposure to external agents.

The proposed methodology allows the investigator to characterize different type of injuries and categorised them according to their severity and magnitude levels, in relation to the risk that they represent for citizens in the public way. From this perspective, durability must be understood as the time to reach each one of these risky levels of deterioration.

Authors such as Serrat and Gibert (2011) [10] applied survival statistical models for estimating time to these levels of degradation during the service life of the facade. However, in order to achieve reliable results, it will be necessary to have a sample representative enough and repeated inspections throughout the life of the buildings.

Figure 1 shows the hypothesis that relates the causes of degradation of the elements of facade ( $C_i$ ) with injuries arising in different levels ( $L_{ik}$ ). It can be seen that different inspection times ( $J_j$ ) get from the facade partial, but complementary, information on the evolution within a lesion and between lesions.

XIII Conference on Durability of Building Materials and Components

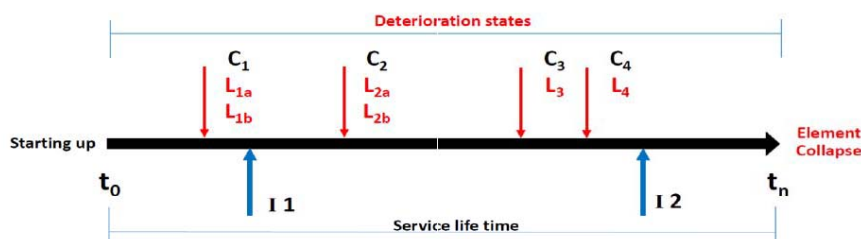


Figure 1: Illustration of the inspection methodology together with the progression among the different deterioration states along the service life of the façade.

Although the causes are responsible for the presence of different types of lesions that appear on the facades, our methodology will focus on collecting data based on the evidence of detectable injuries. This approach agrees with the goal of describing the most recurrent lesions at macroscale level, in order to know how they evolve over time and how they influence the overall durability of the facades.

2.3 Criteria proposal for the indicators

Most of the authors in this research field and those that they have reported experiences in the methodology of inspections at macroscale level, such as Jordana and Gibert (1999) [11], Peixoto de Freitas *et al.* (1999) [12], Mendes da Silva *et al.* (2010) [8] and Rodrigues *et al.* (2011) [10] support the idea of carrying out visual inspections as they offer greater representativity of the facts that investigators are interested in. However, for this it is necessary to fix the purpose pursued, the goals to be achieved, the types of data that are needed to compile and the methodology to be used. It is precisely in these strategic points, previous to the design, where maximum differences between authors are found. Although all agree the realization of visual inspections collected in a physical support of field datasheets, no consensual trend for data collection is given. In this regard, this circumstance may be due to the lack of common regulations among different countries.

After the analysis of the requeriments and the goals of the research study, the criteria that we propose to take into account in the inspection methodology, as well as the specific characteristics of each one of them, are shown in Table 1.

Table 1. Weighted criteria (in percentages) and indicators for the inspection methodology

General	Specific	Relative / Overall Weight (%)	General	Specific	Relative / Overall Weight (%)
<b>Identification</b> 17.5%	Descriptive	36.25 / 6.34	<b>Resources</b> 11.25 %	Technological	25.00 / 2.87
	Methodical	28.75 / 5.03		Human	35.00 / 4.03
	Universal	53.00 / 6.13		Time	40.00 / 4.60
<b>Classification</b> 16.25 %	Sequential	36.25 / 5.89	<b>Data</b> 21.25 %	Reliable	42.50 / 9.03
	Detailed	35.00 / 5.69		Quantifiable	31.25 / 6.64
	Ordered	28.75 / 4.67		Verifiable	26.25 / 5.58
<b>Methodology</b> 22.5 %	Robust	35.00 / 7.87	<b>Analytical skills</b> 11.25 %	Multifunctional	26.25 / 2.95
	Standard	30.00 / 6.75		Processable	41.25 / 4.64
	Quick	35.00 / 7.87		Longitudinal	32.50 / 3.66



#### 2.4 Determination of the weights for the indicators

In order to determine the degrees of importance of each of the requirements, designed for the realisation of major inspections in urban facades, it was necessary to establish, by means of consulting experts, the weights based on a survey and a direct assignment strategy, in order to assess the degree of suitability of the inspection document based on the goals of the project.

First column in Table 1 shows the percentages of each of the requirements, among which we can point out that Methodology (22.50%) and Data (21.25%) are those that require greater attention. Looking at the third column we can see the relative (within the general criterium) and the overall impact of each indicator. As a consequence, all the efforts in the design of the inspection methodology must be focused on collecting reliable (9.03%) and quantifiable (6.64%) data, using a robust (7.87%), quick (7.87%) and standard (6.75%) methodology, and allowing a descriptive (6.34%) but universal (6.13%) identification of the facades.

#### 2.5 Design of the areas to be inspected

The inspection of each facade includes the differentiation of three virtual vertical planes, where all those elements that form part of it are located. The first plane is the vertical closure of the building with the alignment in the road, the second plane represents the cantilever elements formed by balconies and, finally, the third plane contains all solid bodies of facades galleries. Once the planes of interest were established, we proceeded to determine what kind of information was necessary to collect either to eliminate the risk, or to enter into a process of adaptation and improvement of the facade. The planes mentioned above are shown in Figure 2. Next step will be to define on these planes the data collection on the basis of the constructive characteristics of each facade.

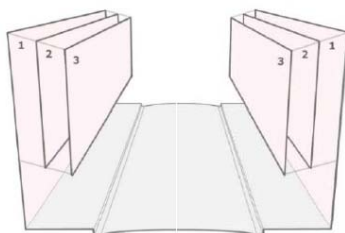


Figure 2: Representation of the virtual planes of the façade.

#### 2.6 Data collection sheet structure

To preserve the essence of the predetermined requirements, it was necessary to establish a method of data collection that had to be fast without creating doubts in the inspector. It had to be standard and capable of bringing together the best information in the minimum possible space. The appropriate answer was given for a field datasheet. In order to achieve the expected results in the inspection phase, we designed general documents for a generic sample of buildings. The final documentation has been divided into two main blocks, one focused on the collection of information related to planning, building and uses, that allows to identify the property, and another more specific for the information on the level of degradation of the elements on the facade under inspection.

XIII Conference on Durability of Building Materials and Components

Figures 3a and 3b contain the fields of those sections that are object of study in order to achieve the objectives and they allow, without loss of time, take the maximum information for future studies. This first tab collects data from different administrative databases and, after being compared with those on site, provides the homogenization of municipal information at the same time that allows to characterize the property for their age, type, usage, dependencies and the transformations that have undergone throughout of his life.

a)			b)	
<b>REFERENCES</b>			<b>REFERENCES</b>	
<b>FIELD DATA</b>	<b>CARTOGRAPHIC DATA</b>	<b>CADASTRAL DATA</b>	<b>DESIGN CHARACTERISTICS</b>	<b>DEGRADATION CHARACTERISTICS</b>
<b>BUILDING CHARACTERISTICS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Construction</li> <li>▪ Distribution</li> <li>▪ Transformation</li> <li>▪ Services</li> </ul>	<b>ARCHITECTURAL CHARACTERISTICS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Volumetric</li> <li>▪ Graphical</li> </ul>		1. Corps 2. Balconies 3. Tribunes <i>Each feature contains:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Existence</li> <li>▪ Element</li> <li>▪ Location</li> <li>▪ Material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Type of injury</li> <li>▪ Exten</li> <li>▪ Severity</li> </ul>
	<b>OBSERVATIONS</b>			

Figure 3: Field datasheet a) for the building and b) for the façade.

The scheme in Figure 3b shows two large sections where, systematically, we can collect (left-hand part) the different parts into which we have subdivided the façade, in concordance with the planes previously described, and (right-hand part) the type, exten and severity of the injuries.

Once we have fixed the sections, subsections and elements to be observed in the inspections, as well as the different concepts of classification of the status of each façade, we can design the field datasheets that will be used by different groups of inspectors for the collection of data.

The functional importance of the tabs and the apparent rigidity of its contents are essential to obtain information robust enough, aimed to determine the real status of the building stock. Despite this, it is necessary to instruct the inspectors to explain how they should organised the datasheets, what types of information they contain, as well as the criteria to be taken into account in front of a particular injury.

**2.7 Application**

The methodology introduced in the previous subsections, in preliminary versions, has been successfully applied in several cities and locations. As a summary of the project and as a first picture of the results, Table 2 shows the location of the inspections, the number of inspected facades in each location and the percentage of facades in each severity level, in terms of the estimation of the time in which a maintenance action would be needed. Figures illustrate clear differences among locations and make evidence for the interest of a network of urban labs.

Table 2. Scope of the project for a network of urban laboratories

Country	City	Number of Inspected facades	Percentage of Actions		
			Long-term	Middle-term	Short-term
Spain	L'Hospitalet de Llobregat	13193	50	43	7
	Esporles (Mallorca)	291	43	51	6
	Barcelona (Ciutat Vella)	2631	24	53	23
	Barcelona (Eixample)	2736	39	49	12
Chile	Valparaíso	396	16	58	26
	Santiago de Chile	1403	28	61	11
Mexico	Mexico F.D.	525	16	21	63
Global state of the cities inspected		21175	42	47	11

### 3 CONCLUSIONS

In response to the problem of how to approach, at macroscale level, an analysis of urban facades, a standard inspection methodology for the collection of information on their conservation status has been developed.

The core of the inspection tool was created taking into consideration a number of key indicators that focus the interest in collecting data according to its importance. Its structure allows to differentiate the identification details of the building from the descriptive data of the facade itself. It is also possible to classify all the observed elements, and it allows to record its condition at time of inspection.

Definitely the proposed methodology will facilitate the collection of information on the status of the built park, in order to record a visual inspection with objective data. According to this design, the data concerning the state of conservation of the facade elements can be easily analyzed in subsequent statistical studies, and they can also be displayed and managed by Geographic Information System platforms.

### ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been partially supported by the School of Building Construction of Barcelona (EPSEB-UPC), by the Building Laboratory at EPSEB and by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness under grant MTM2012-38067-C02-01. Special thanks are due to the members of the IEMAE and GRASS research groups for their valuable comments and suggestions.



## XIII Conference on Durability of Building Materials and Components

## REFERENCES

- [1] Chaves, H., "Análisis multiescala en el diagnóstico de vacíos de conservación de ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos del SINAP", (Panamá, Panamá, 2010).
- [2] Bessey, K. M., "Structure and dynamics in an urban landscape: Toward a multiscale view", *Ecosystems*, **5** (4) (2002) 360–375.
- [3] Gluch, R., Quattrochi, D.A. and Luvall, J.C., "A multi-scale approach to urban thermal analysis," *Remote Sens. Environ.* **104** (2) (2006) 123–132.
- [4] Baklanov, A.A. and Nuterman, R.B., "Multi-scale atmospheric environment modelling for urban areas", *Adv. Sci. Res.* **3** (2009) 53–57.
- [5] Saaty, T.L., "The Analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation", (McGraw-Hill International Book Co., New York, 1980).
- [6] Figueira, J., Greco, S. and Ehrgott, M., "Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys" (Springer, New York, 2005).
- [7] Arrow, K.J., Raynaud, H. and Pascual, M., "Opciones sociales y toma de decisiones mediante criterios múltiples" (Alianza, Madrid, 1989).
- [8] Mendes da Silva, J., Vicente, R. and Subtil, A. C. N., "Buildings in the old town of Coimbra: knowledge and action to promote their rehabilitation," *Struct. Surv.*, **28** (1) (2010).
- [9] Rodrigues, M.F.S., Teixeira, J.M.C. and Cardoso, J.C.P., "Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology", *Constr. Build. Mater.* **25** (5) (2011) 2741–2750.
- [10] Serrat, C. and Gibert, V., "Survival analysis methodology for service life prediction and building maintenance", in *Proc. 12th Int. Conf. Durab. Build. Mater. Components*, vol. II, Porto, April, 2011 (Universidade do Porto, Porto, 2011) 599–606.
- [11] Jordana, F. and Gibert, V., "Pla pilot de l'estat de les facanes en edificis de l'Eixample", (ProEixample, S.A., Barcelona, 1999).
- [12] Peixoto de Freitas, V., Sousa M. and Abrantes, V., "Survey of the durability of facades of 4000 dwellings in northern Portugal. Retrofitting of facades", in *Proc. 8th Int. Conf. Durab. Build. Mater. Components*, Vancouver, May, 1999 (National Research Council, Canada, 1999) 1040–1050.

### G.3 XIV DBMC

#### **BRAIN: Building Research Analysis and Information Network** SERRAT Carles<sup>1,a\*</sup>, GIBERT Vicenç<sup>2,b</sup>, CASAS Joan Ramon<sup>3,c</sup> and RAPINSKI Jacek<sup>4,d</sup>

<sup>1</sup>Dept of Mathematics, IEMAE-EPSEB, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Dr Marañón, 44-50, 08028-Barcelona, Spain

<sup>2</sup>Dept of Architectural Technology II, LABEDI-EPSEB, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Dr Marañón, 44-50, 08028-Barcelona, Spain

<sup>3</sup>Dept of Civil and Environmental Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, Jordi Girona, 1-3, 08034-Barcelona, Spain

<sup>4</sup>Institute of Geodesy, University of Warmia and Mazury, Oczapowskiego, 2, 10719-Olsztyn, Poland

<sup>a</sup>carles.serrat@upc.edu, <sup>b</sup>vicenc.gibert@upc.edu, <sup>c</sup>joan.ramon.casas@upc.edu,  
<sup>d</sup>jacek.rapinski@uwm.edu.pl

\*corresponding author

**Keywords:** Building stock durability, collaboratory, inspection methodologies, survival analysis.

#### **Abstract**

The research we introduce in the paper is intended to model and to infer on the durability of architectural fronts, composed of the facades of buildings, by designing a predictive system. The estimation is based on survival analysis techniques, from a non-parametric approach. The ultimate aim is to develop a robust and flexible platform for the data collection and analysis able to be implemented in any city in the world. In this sense, the Building Research Analysis and Information Network (BRAIN hereinafter) will be introduced in detail. BRAIN, as a powerful tool, will allow making strategic decisions for the maintenance and the sustainability of the building stock.

#### **Introduction**

Two main preliminary works has inspired our research. On one hand, Rodrigues et al. (2011) [1] studied the envelopes of buildings and their levels of degradation. In particular, some anomalies and damages were typified. On the other hand, Chaves (2010) [2] set the guidelines which must drive the strategies to deal with successive inspections at a multiscale level. Based on both contributions we will design a multiscale predictive platform for the analysis of the deterioration process of the facades in a building stock.

We will focus on determining a reliable inspection method that fits to any urban laboratory. The methodology must study the morphology of the architectural elements and the states of the damages in the facades, from a general perspective. Some fundamentals on the methodological parts and preliminary works have been previously introduced by Serrat and Gibert (2011) [3] and Gibert et al. (2014) [4]. This information will be treated by QGIS and R, in order to model the durability functions as well as the hazard functions associated to the probability of occurrence of damages.

The paper presents, in a sequential structure, all processes and achievements that have been made based on previous experiences in the learning phase of inspections, followed by the statistical approach and, finally, the open source QGIS and R platform illustrated through the FAD plugin and the results of a case study to prove we achieve the goals we have set.

### A Collaborative Perspective

The research focuses the prospecting campaign of the facades at a multiscale level. Indeed, it concentrates the interest within the concept of the urban laboratory that collects the envelope of the buildings and derives to the urban front. This approach defines the urban canyon as the U-shape location where the facades are exposed and the time-to-event variables as well as the territorial and environmental covariates occur and determine the facades durability over time. Fig. 1 shows the urban laboratory and the urban canyon.

The project is a translatable study to any city in the world in a networking manner. The net has a neuronal analysis center, the Collaboratory, as a coordination unit, able to store and analyze the information from the cells in order to check for similarities and differences across the participants (cities, i.e. urban labs). Right-hand part of the Fig. 1 illustrates the network. The main objective is to joint efforts into the predictive knowledge of the deterioration of the urban fronts.

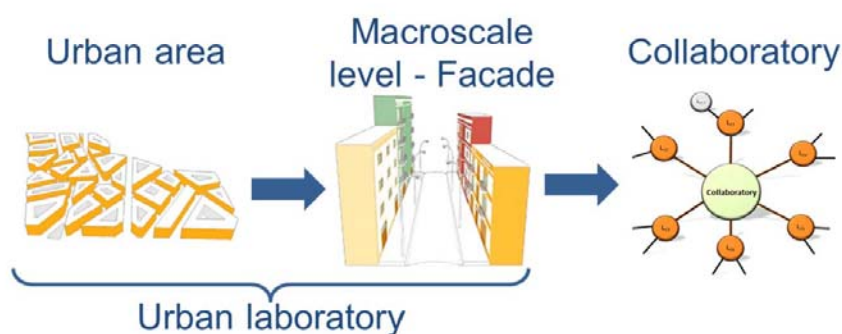


Figure 1. Urban laboratory network and Collaboratory for the BRAIN project

### BRAIN Methodological Components

In this section we will introduce, in a short manner, the three components of the BRAIN project. That is a) the inspection methodology to be applied to the urban lab, b) the survival analysis methodology as a statistical technique for the durability and modeling estimation and, c) the GIS platform as a tool for managing the information and the analyses. Details of these components can be found in Gibert (2016) [5].

**Inspection Methodology.** The main goal of the monitoring part is the followup of the facades in order to detect in which particular moment of the service life of the facade the damages occur and progress. Fig. 2 illustrates the variety of causes of dysfunction to which the facade is exposed in the aging and deteriorative process. It can also be seen in Fig. 2 that some lesions ( $L_{1a}$  and  $L_{2a}$ ) can appear in the service life of the elements in the facade and progress (to  $L_{1b}$  and to  $L_{1c}$ , and to  $L_{2b}$ ) among different states.

Gibert et al (2014) [4] designed the inspection protocol based on a list of requirements in order to apply a population approach and as a result an inspection document was derived. The document consists of two parts. Part a) allows to collect field data, cartographic data, cadastral data as well as plot/building/facade data and architectural characteristics. Part b) is made for collecting the existing elements and materials and the state of some damages at the time of inspection. Fig 3 shows part b) of the inspection document in detail.

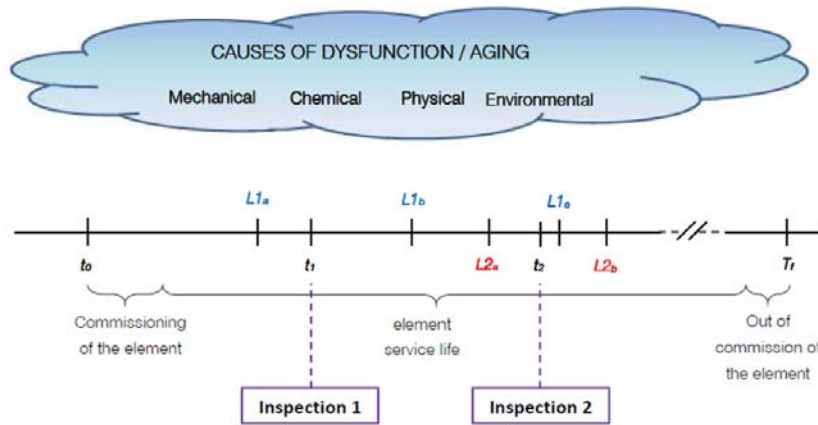


Figure 2. Illustration of the inspection methodology together with the progression among the different deterioration states along the service life of the facade

**Survival Analysis Methodology**

Let  $T$  be the time from the beginning of the follow-up (time zero) until the failure (the event of interest) happens.  $T$  is our random variable of interest. Let  $f(t)$  and  $F(t)$  be the density and the cumulative distribution function of the random variable  $T$ . Based on  $f$  and  $F$  we can derive statistics of interest like, the quantiles of the distribution. This will allow us to estimate the time until a proportion of damaged buildings in the population or, in the reverse sense, the proportion of damaged buildings at certain time for a particular damage. In the service life setup, time zero will mean the date that the building is built and by failure we will understand the successive grades of gravity, or the successive grades of extent, of the damages.

The survival (i.e. durability) function for the random variable  $T$  is the complement to one of the distribution function  $F$ , that is,

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - P(T \leq t) = P(T > t), \tag{1}$$

and it will compute the proportion of population that is damage free at moment  $t$ .

The hazard function,  $h(t)$ , as the propensity (not probability) to failure given the unit is at risk (i.e. is failure free) is defined as

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t}, \tag{2}$$

and it can be demonstrated that  $h(t) = f(t)/R(t)$ . If we define the cumulative hazard function,  $H(t)$  as  $H(t) = \int_0^t h(s)ds$ , the relationship between the durability function and the cumulative hazard function is given by

$$R(t) = e^{-H(t)}. \tag{3}$$

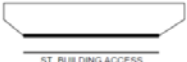
FACADE CHARACTERISTICS			COATING			CON			DIS			MORPHOLOGY			FB	FT	OT	
ADDRESS	N°	FAC No	T	C	N	P	D	M	R	S								
			P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P
<b>MAIN BODY</b>																		
WALL-ZB																		
WALL-ZM																		
HOLES																		
LINTEL-ZB																		
JAMB-ZB																		
LINTEL-ZM																		
JAMB-ZM																		
PARAPETS																		
<b>COATING</b>																		
DISCONTINUOUS																		
TILING-ZB																		
TILING-ZM																		
CONTINUOUS																		
PLASTERED MORTAR																		
STUCCO WORK																		
SCRATCH WORK																		
FINISHING																		
<b>DECK RAILING</b>																		
WALL-1																		
WALL-2																		
TILING																		
PLASTERED MORTAR																		
SERIF																		
<b>PROJECTING BODIES</b>																		
<b>BALCONIES</b>																		
SLAB-1																		
SLAB-2																		
EDGES																		
UNDER BALCONY																		
RAILING																		
WALL-1																		
WALL-2																		
TILING																		
PLASTERED MORTAR																		
SERIF																		
<b>TRIBUNES</b>																		
SLAB																		
EDGES																		
UNDER TRIBUNE																		
WALL-1																		
WALL-2																		
TILING																		
PLASTERED MORTAR																		
STUCCO WORK																		
SCRATCH WORK																		
FINISHING																		
HOLES																		
LINTELS																		
JAMBS																		
PARAPETS																		
<b>OTHER ELEMENTS</b>																		
PLINTH																		
BRACKETS																		
LEDGES																		
EAVES																		
DAVITS																		
OTHERS																		
 ST. BUILDING ACCESS																		
			<b>TYPE OF DAMAGE</b> T DETACHMENT    D DEFORMATION C CRACK        M MAT. DEGRAD. N DEBONDING    R CORROSION P SPALLING      S MOISTURE						<b>EXTENT</b> P PUNTUAL L LOCAL G GENERAL			<b>SEVERITY</b> 1 SYMPTOM    5 VERY SEVERE 2 MILD        6 EXTREME 3 MODERATE 4 SEVERE						

Figure 3. Inspection sheet for the failures data

The hazard function can be a monotone or nonmonotone function. Fig 4 shows the usual bathtub shape of the hazard function  $h(t)$  under a general hipotesis model.



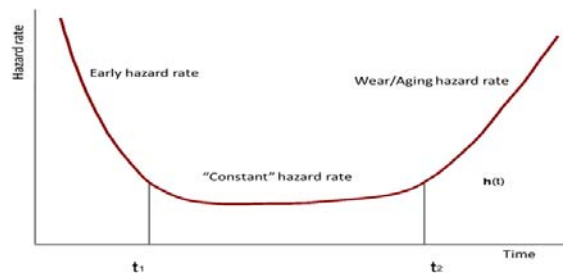


Figure 4. Bathtub shape hazard function

Our sample will be inspected at different inspection times ( $t_1, t_2, \dots$ ) (see Fig. 2) and the information on the failures times for the damages  $L_{ij}$  that the inspector collects is interval censored, in the sense that the investigator only can ensure with probability one that the time to failure is in an interval  $(l_i, r_i)$ . As an illustration, in Fig 2 after the two inspections at moments  $t_1$  and  $t_2$ , the information for the time until failures  $L_{1a}$ ,  $L_{1b}$  and  $L_{2b}$  is  $(0, t_1 - t_0)$ ,  $(t_1 - t_0, t_2 - t_0)$  and  $(t_2 - t_0, \infty)$ , respectively, which is known as a left, interval and right censored information [3,6].

In the context of our research on facades durability, since there are no references on the distributions that failure times follow, we will estimate the durability function and the hazard function in a non-parametric way. That is, our estimates will be only based on the data and we will not suppose any hypothetical (and non-testable) distributions family for the unknown density  $f$ .

Kaplan and Meier (1958) [7] proposed a non-parametric estimator, called product limit estimator, for the durability function in the case of right censored data. Turnbull (1976) [8] extended the Kaplan-Meier estimator to the case of interval censored data. The main idea of the Turnbull's estimator is to identify, based on the available information, the intervals of the real time line where the failure probability mass can be estimated and estimate it by implementing an iterative algorithm that maximizes the non-parametric likelihood function

$$L = \prod_{i \in O} (F(o_i) - F(o_i^-)) \prod_{i \in R} (1 - F(r_i)) \prod_{i \in L} F(l_i) \prod_{i \in I} (F(r_i) - F(l_i)), \quad (4)$$

where  $O, R, L$  and  $I$  are the subsets of exact, right-censored, left-censored and interval-censored observations, respectively. From the resulting probabilities, durability and hazard functions can be derived.

From the computational point of view, in order to obtain the proper estimates and significant covariates for the survival model, Turnbull's estimator is implemented in R [9] in the Icen package [10] available at Bioconductor website and when the investigator needs to test for differences in the survival function among groups FHtest package [11] can be used.

**GIS Platform. FAD Tool.** The BRAIN strategy consist of monitoring the facades via inspections and analyzing the data, in a continuous manner, in order to study the state and evolution of the damages, in a predictive way, in the facades of an urban park under study. In order to do this, we have implemented a QGIS [12] plugin. It has been called Followup and Decision, hereinafter FAD, and it has been created for the Linux environment. The language used to implement this application has been Python [13], open source language, object-oriented, which allows the use of other external programs, such as the case of R used for the statistical analysis. FAD is divided into three modules. Fig 5 illustrates the structure of the plugin as well as the content of the menus and the developing tools for the programming and analyzing parts.

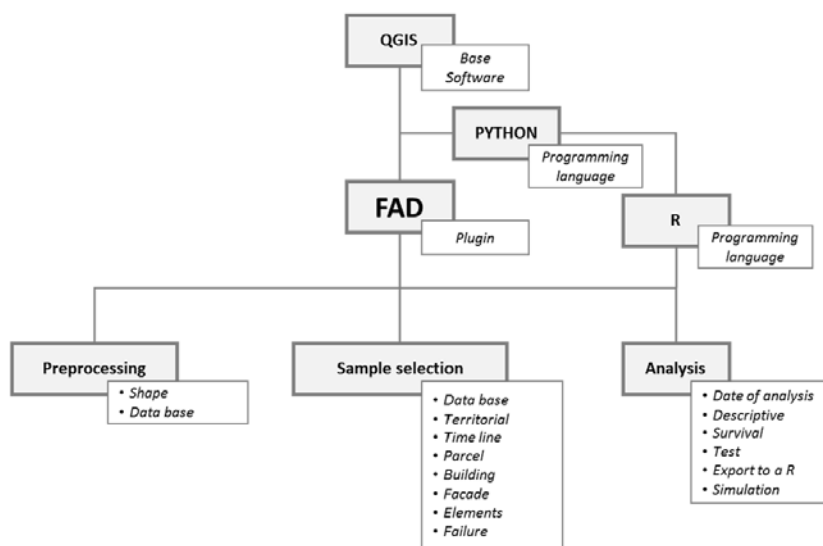


Figure 5. FAD's structure and menus functionality

The FAD plugin is developed using an object oriented approach. The interface (see Fig. 6) is designed using a qt designer and the functionality of the plugin is written in Python 2.7. The most important dependencies used in the plugin are: a) PyQt for the GUI design, b) Xlrd for manipulating Microsoft Excel files. This is used in the data import process, c) Json for manipulating Java Script Object Notation files, which are used as configuration files, d) Sqlite3 for handling SQLite3 database in which the inspection data is stored, e) Matplotlib for plotting the results, f) NumPy for mathematical computations and g) Rpy2 for binding between Python and R. More details on FAD and its development can be found in Serrat et al. (2016) [14] and Gibert (2016) [5].

The most relevant features of each module, briefly described, are: *Pre-processing*: It shows the facades contained both vector layer (geographic information) as well as the stored ones in the DB. *Sample selection*: Module that allows the selection of a sample of facades according to the parameters of interest and criteria defined by the user. These parameters are related to territorial characteristics, timeline, plot, building, facade morphology, facade elements and related injuries, following the structure of the DB in QGIS. *Analysis*: It allows to analyze the sample selected in the previous module, from a descriptive perspective as well as from applying survival analysis techniques to estimate the evolution of the degradation of selected facades, and identifying which variables are significantly involved in the deterioration process.

#### BRAIN Dissemination. A Case Study

The BRAIN project introduced in the previous sections has been implemented in a variety of countries and cities, as a strategic for building stock management. Table 1 shows the location of the inspections and the number of inspected facades.

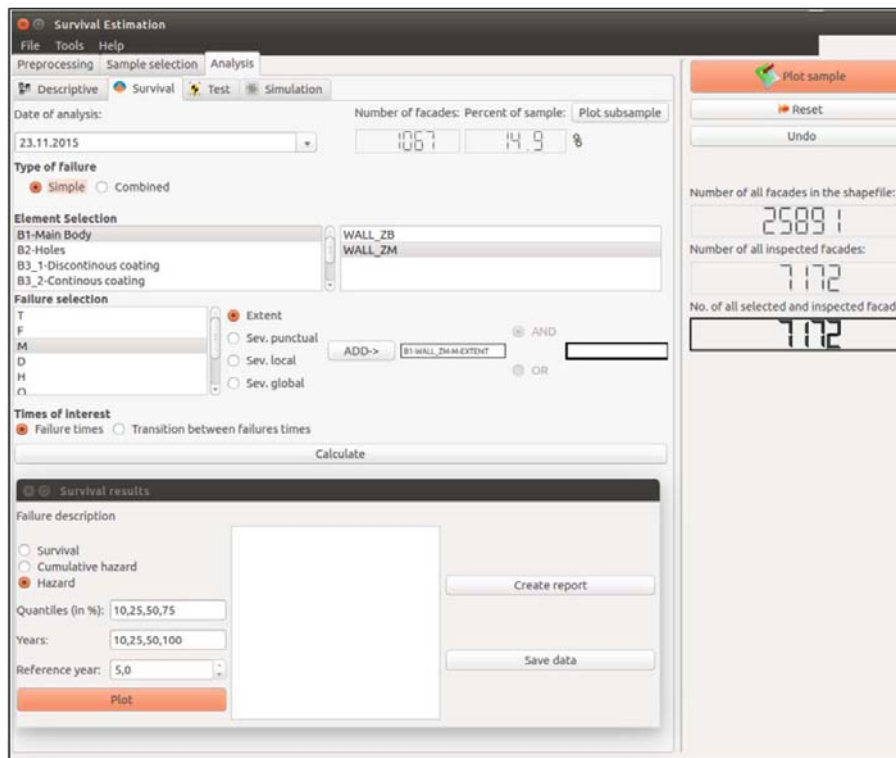


Figure 6. "Analysis / Survival" interface

Table 1. Scope of the BRAIN project  
(in L'Hospitalet: <sup>(1)</sup> first inspections by 2001, <sup>(2)</sup> second inspections by 2016)

Country	City	Location	# inspected facades
Spain	Barcelona	Ciutat Vella	2631
		L'Eixample	2736
	L'Hospitalet	Whole city	13193 <sup>(1)</sup> +1308 <sup>(2)</sup>
France	Toulouse	Old Town	80
México	México DF	Casco Antiguo	525
Chile	Valparaíso	Zona de los Cerros	396
	Santiago de Chile	Casco Antiguo	1403

As an illustration of the features and benefits of the BRAIN network we will give some results of the application to L'Hospitalet de Llobregat (hereafter L'Hospitalet) in the metropolitan area of Barcelona. We will focus in the dwellings located in the Collblanc neighborhood as statistical population of interest. The sample size is 489 of which 356 were reinspected in 2016. Fig. 7 shows the progression of inspections and reinspections in L'Hospitalet. Almost 70,000 m<sup>2</sup> of facades have been inspected and the environmental impact profile is made by sun, rain and contamination low exposures and wind high exposure.





Figure 7. QGIS map of the inspected facades in L’Hospitalet de Llobregat from a first inspection (in gray), a second inspection (in green) and a second inspection in Collblanc neighborhood (in pink).

One of the descriptive functionalities in the Analysis tab of the FAD plugin is to compute and describe –numerically and graphically- the Weighted Severity Index (WSI) for all the failures of interest in the selected sample. The WSI for a facade is computed based on the extent and severity assessment of each damage on the elements of the facade. It allows the investigator to draw a general picture of the global state of the damages in the sample. In Fig. 8 we can see that cracks is the third damage, after moisture and deformation damages, affecting the sample. On the other hand, cracks is the damage with more presence in the sample (only a 10% of the dwellings is cracks-free). In what follows we will pay attention to the crack damage on plastered mortars in continuous coatings.

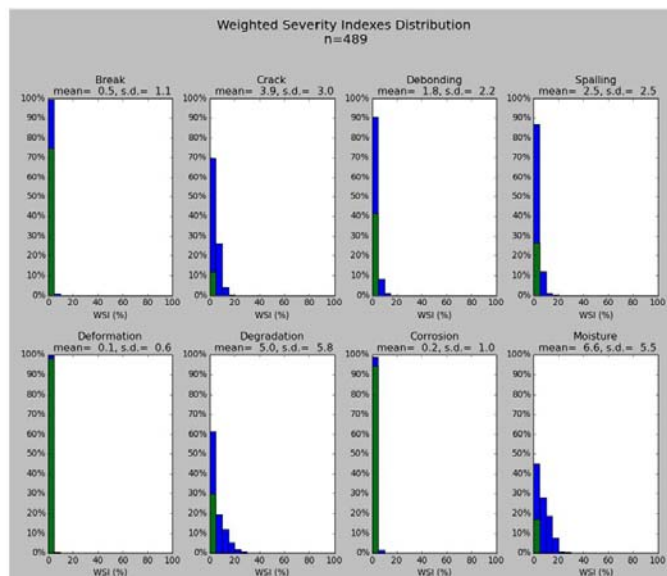


Figure 8. Weighted Severity Indexes descriptive and plots for the failures of interest in the sample of dwellings in the Collblanc neighborhood (green colour means failure absence)

In Fig. 9 the estimated survival functions of the time until the crack, by extent, are shown. Estimates are based on the 338 facades at risk for this damage. It is interesting to see that the second inspection has allowed to improve the quality of the data in the sense of moving a 15.7% of the data from right censored to interval censored, in the time until the punctual crack. While the time until a punctual crack is short (in other terms, punctual cracks presence is fast), progression until local or general cracks is significantly longer.

According to the table in Fig. 9, 1 of each 4 dwellings facades in Collblanc (25%) will suffer a punctual crack by 7.7 years, however a local crack by 94.5 years and a general crack by 121.9 years. In a reverse sense, in 50 years 47.7% of dwellings facades in Collblanc will suffer a punctual crack, 7.7% a local crack and 1.8% a general crack.

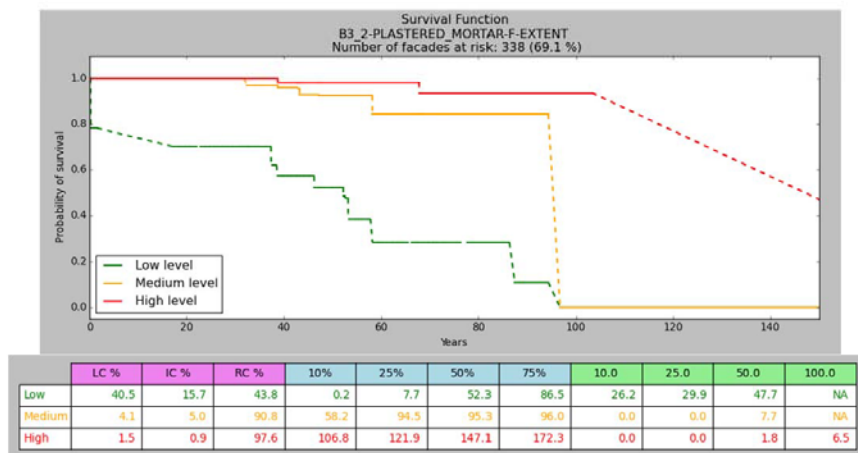


Figure 9. Survival function plot and table of results output for the crack failure, on plastered mortars in continuous coatings by extent in dwellings in the Collblanc neighborhood (green=punctual, orange=local, red=general, LC=left censored, IC=interval censored, RC=right censored, columns in blue=Number of years until a proportion of failures (in percentage), columns in green=Proportion (in percentage) of failures at a given time (in years), NA=Non Available).

From the hazard function point of view, Fig. 10 illustrates the cumulative hazard functions for the three times to crack, by extent. Fig. 10 agrees results in Fig. 9 in the sense that trends are reconfirmed. The progression of the cumulative hazard function for local and general cracks is actually slow and they do not represent any risk for the population of facades. In contrast, for the punctual crack it is interesting to know that the cumulative hazard at ages 25 and 50 are 30% and 140% higher than the cumulative hazard at age 5, respectively, which indicates the effect of the exposure to the crack probability.

### Scope and Ongoing Developments

BRAIN has proven to be a robust and flexible tool for building stock management and it is ready to be implemented in other cities as new urban laboratories. The progressive aging and deterioration of urban fronts force the scientific community to look for solutions with the possibility of dealing with the population of facades as a whole. In other terms, the worldwide implementation of the predictive and modeling approaches described above is urgent and worldwide needed, as well as the creation of a European reference center as Collaboratory.

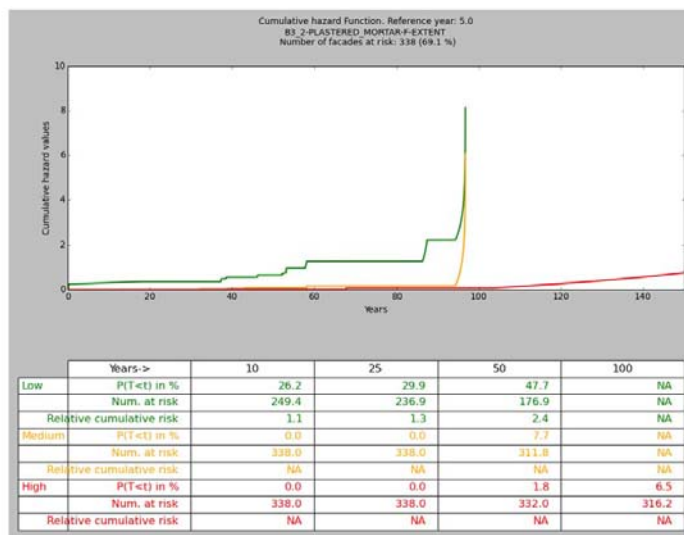


Figure 10. Cumulative hazard function plot and table of results output for the crack failure, on plastered mortars in continuous coatings by extent in dwellings in the Collblanc neighborhood (green=punctual, orange=local, red=general, NA=Non Available).

The project dissemination is in progress and the plugin FAD is in continuous development. At the moment, we are exploring the possibilities of incorporating scanner vision technologies in the inspections in order to improve them in time and diagnosis accuracy, as well as the use of online layers with climate and contamination information, in a dynamic manner, in the predictive analyses.

**Acknowledgements**

This research has been partially supported by grants MTM2015-64465-C2-1-R (MINECO / FEDER) from the Ministerio de Economía y Competitividad (Spain) and 2014 SGR 464 from the Departament d’Economia i Coneixement de la Generalitat de Catalunya. Authors are grateful to members of the IEMAE, LABEDI and GRASS-GRBIO groups their valuable comments and suggestions in the development of the work. Special thanks to Laura and Sandra for their implication and efficient collaboration in the project.

**References**

[1] M.F.S. Rodrigues, J.M.C. Teixeira and J.C.P. Cardoso, Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology, *Construction Building Materials*, 25 (2011), 2741–2750.

[2] H. Chaves, Análisis multiescala en el diagnóstico de vacíos de conservación de ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos del SINAP, Panamá, in *Proceedings of the III Congreso Mesamericano de áreas protegidas*, Mérida, México, 2010.

[3] C. Serrat and V. Gibert, Survival analysis methodology for service live prediction and building maintenance, in *Proceeding of the 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, vol. II, Porto, Portugal, 2011, 599-606.

[4] V. Gibert, C. Serrat and J.R. Casas, Determination of criteria for the exploration and for obtaining indicators in evolutionary analysis of degradation in urban facades, in *Proceeding of the*

13th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Sao Paulo, Brasil, 2014, 656-663.

[5] V. Gibert, Sistema predictivo multiescala de la degradación del frente urbano edificado (in spanish), PhD Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTECH, (2016).

[6] J.P. Klein. and M.L. Moeschberger , Survival Analysis. Techniques for Censored and Truncated Data, Springer, New York, USA, 1997.

[7] E.L. Kaplan and P. Meier, Nonparametric estimation from incomplete observations, Journal of the American Statistical Association, 53 (1958), 457-481.

[8] B.W. Turnbull, The empirical distribution function with arbitrarily grouped, censored and truncated data, Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 38 (1976), 290-295.

[9] R Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, (2014). URL <http://www.R-project.org/>.

[10] R. Gentleman and A. Vandal, Icms: NPMLE for Censored and Truncated Data, R package version 1.44.0. (2016).

[11] R. Oller and K. Langohr, FHtest: Tests for Right and Interval-Censored Survival Data Based on the Fleming-Harrington Class, R package version 1.3. (2015).

[12] QGIS Development Team, QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, (2016). URL <http://www.qgis.org/>

[13] G. van Rossum and the Python development team, The Python Language Reference, release 2.7.12 (30/10/2016). URL: <https://docs.python.org/2.7/>

[14] C. Serrat, V. Gibert, J. Rapinski and J.R. Casas, Followup and Decision (FAD) as a Strategic Tool for Building Stock Management, in Proceedings of the 2016 People, Buildings and Environment Conference, Luhacovice, Czech Republic, 2016.