

# Sistema predictivo multiescala de la degradación del frente urbano edificado

## Volumen I: Memoria

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



*A mis hijos*



# AGRADECIMIENTOS

Al dar por concluida esta Tesis Doctoral, que ha ocupado una gran parte de mi vida académica y personal, es justo agradecer y reconocer a todas aquellas personas que, en un momento u otro, se han involucrado en este proyecto y le han aportado también algo de sí mismos. No será posible mencionarlas a todas ellas pero vaya por delante mi más profundo agradecimiento por su ayuda.

En primer lugar destacar, en estos agradecimientos, a mis dos directores de tesis el Dr. Joan Ramon Casas Rius y el Dr. Carles Serrat i Piè, a quienes les debo multitud de enseñanzas y el rigor exhaustivo que se ha de dispensar en un trabajo de investigación. Con ellos he aprendido que, cuando ya has llegado a la solución del problema, te encuentras justo al principio de un nuevo reto aún más ilusionante. Nunca podré agradecerles suficientemente su dedicación, entrega y, por encima de todo, su amistad.

Agradecer también a los profesores de la EPSEB sus consejos y atenciones, al personal de la Biblioteca que nunca tuvo un “no” como respuesta a mis necesidades y a la Dra. Amparo Muñoz, por su ayuda y orientaciones.

Asimismo quisiera agradecer a los compañeros y amigos del Laboratorio de Edificación (LABEDI) de la EPSEB, Francesc Jordana, Kàtia Gaspar y Alina Avellaneda, su comprensión y apoyo en aquellos momentos de cambios de humor; en especial, a Verónica Royano, por su constante disponibilidad, paciencia, visión crítica y orden, que han puesto pausa a muchas inquietudes.

A los componentes del Grupo de Investigación en Análisis Estadístico de la Supervivencia (GRASS) el haberme acogido y dado la oportunidad de participar junto a ellos en tantas experiencias científicas que han servido para formarme como investigador.

A quienes forman el Instituto de Estadística y Matemática Aplicada a la Edificación (IEMAE), agradecerles el que nunca me haya sentido solo y en especial a Laura Moreno y Sandra Castillo, quienes han contribuido desde el principio de forma generosa y sin desfallecer, apoyándome hasta el final. Al Dr. Jacek Rapinski por su desinteresada colaboración y entrega en la programación e implementación del aplicativo FAD.

Pero sin duda, a quien debo agradecer sus esfuerzos, es al Dr. Carles Serrat y a su familia por haberles apartado de él durante muchas horas. Carles, amigo, sin ti hoy no estaría aquí presentando esta Tesis Doctoral, sin tu implicación, generosidad, saber hacer y ejemplaridad, habría sido imposible recorrer el camino. Un camino que se esbozó sobre una sencilla servilleta de papel, partiendo de una idea que era una locura y parecía inalcanzable. Juntos y con mucho esfuerzo lo hemos conseguido.

A los estudiantes que me han ayudado a configurar aspectos preliminares de la investigación y que se han entregado al proyecto de forma generosa, entusiasta y participativa, mi más sincero agradecimiento por su esfuerzo y sacrificio.

A todos los que he nombrado y a los muchos que debería haber nombrado, muchas gracias.

Sin embargo, no puedo concluir estos agradecimientos sin exteriorizar un sentimiento emocional, difícil de describir, hacia mi familia. A ellos, agradecerles que entendiesen por qué era tan importante para mí realizar esta inversión de tiempo para perseguir un sueño, especialmente a mi mujer. A mis hijos quiero decirles que la búsqueda del conocimiento es atemporal, que no se rindan ante las dificultades y que sean imaginativos para no dejar nunca de ser creativos.

# RESUMEN

Es contrastable la evidencia del envejecimiento progresivo del parque edificado de las ciudades, junto al fuerte impacto social y repercusión económica en términos de mantenimiento que éste representa, así como el riesgo para las personas que lleva asociado. En este contexto, la Tesis Doctoral explora vías para interceder ante estos fenómenos mediante metodologías predictivas que abordan la problemática bajo una perspectiva de grandes áreas urbanas. Para conseguir este objetivo la investigación propone un sistema predictivo a multiescala de la degradación de los frentes urbanos edificados de la ciudad.

La Tesis Doctoral plantea incorporar a las teorías existentes de durabilidad, ciclo de vida y análisis del ciclo de vida una aportación innovadora fundamentada en la introducción de técnicas de análisis de supervivencia predictivas, a lo largo del tiempo, en los estudios de durabilidad en las fachadas del frente urbano. La investigación con el fin de abarcar toda la problemática se ha estructurado en tres partes en las que se contribuye de forma específica y directa a la investigación principal.

En la Parte I, Introducción al marco teórico y al laboratorio urbano, se exponen las conclusiones a las que nos ha llevado la revisión de la bibliografía científica y de la legislación existente, sobre los temas que han suscitado interés para el progreso de la investigación. Una vez presentado el Laboratorio Urbano, se justifica y define cómo estructurar los elementos objeto de observación, qué tipologías arquitectónicas resultan del estudio, cómo se sitúan dentro de una trama urbana, qué relaciones se establecen con los fenómenos climáticos y de contaminación medioambiental, cuáles son los principales agentes de degradación y a qué tipo de lesiones corresponden, incluyendo una escala de representación y de gravedad. Con ello definimos el elemento unitario de estudio con sus características morfológicas, de entorno y de afectación dejando introducidos los elementos básicos para la realización de estudios de seguimiento de grandes áreas urbanas.

La metodología de inspección, las técnicas de análisis estadístico y la implementación de un aplicativo en SIG se investigan y proponen en la Parte II de la Tesis. En cuanto al modelo de fichas para realizar las inspecciones de fachadas, el documento propuesto ha sido revisado por expertos y optimizado vía métodos comparativos multicriterio. También se ha estudiado la fiabilidad de los equipos de inspección que ha conducido a propuestas concretas de actuación, así como a futuras líneas de investigación.

En el Capítulo 5 se describen las técnicas empleadas dentro del modelo de análisis estadístico de supervivencia aplicando modelos no paramétricos para datos con censura en un intervalo. Se introduce el estimador de Turnbull para este tipo de análisis, como alternativa a los análisis paramétricos. La razón del modelo responde al tipo de información disponible y que ésta siempre se halla censurada en un rango temporal muy amplio. Las técnicas presentadas son

fundamentales en cuanto representan un cambio de paradigma en las estrategias de modelización preventiva.

La metodología de inspección y de análisis de supervivencia propuestos se han integrado en un entorno de gestión SIG. Por ello se ha implementado un aplicativo estadístico en QGIS que permite la exploración territorial, morfológica y de lesiones del frente urbano y el modelado de los tiempos hasta la lesión haciendo uso de librerías de R. El aplicativo se ha elaborado en colaboración con el Dr. Jacek Rapinski del Instituto de Geodesia de la Facultad de Geodesia e Ingeniería de la University of Warmia and Mazury en Olsztyn (Polonia), el Laboratorio de Edificación y el IEMAE de la EPSEB, y ha sido programado en lenguaje Python. Esta integración representa una relevante aportación como herramienta de soporte a la toma de decisiones sobre el parque edificado, en cuanto al conocimiento que infiere sobre el proceso de deterioro de los frentes urbanos.

Con la metodología del sistema predictivo disponible se procede a la exploración y obtención de resultados sobre un caso de estudio. La ciudad escogida ha sido la de L'Hospitalet de Llobregat. En la Parte III se hallan descritas las distintas campañas de inspección que se han realizado con el fin de mejorar la información disponible y qué barrios han sido seleccionados. La investigación ha relajado hipótesis previas de manera que ha permitido que sean los datos quienes marquen los focos de interés más significativos a raíz de consultar el módulo de análisis que permite mostrar orientaciones, impactos territoriales, porcentajes de afectación sobre las partes más representativas de la fachada y porcentajes basados en los tipos de lesión. Estos resultados descriptivos del estado general de la muestra estudiada, son la base de la selección para los análisis de supervivencia y modelización posteriores. En particular, también se proponen e ilustran técnicas de modelización no paramétricas para determinar qué variables intervienen de forma significativa en el proceso de aparición de las lesiones sobre las fachadas. Los resultados parciales del caso de estudio demuestran cómo se puede disponer de información relevante para una gestión preventiva eficaz.

Las conclusiones de la Tesis Doctoral reafirman la validez del sistema predictivo planteado y que se postula como un modelo eficaz para la prevención en la degradación de los frentes urbanos. El capítulo final también incorpora aspectos de mejora de las inspecciones como medios TIC y la formación de los inspectores, y a su vez apunta propuestas para incorporar datos dinámicos sobre el territorio aprovechando el potencial de QGIS y dotar de mayor análisis estadístico al aplicativo FAD. El doctorando argumenta que este tipo de iniciativas requieren un soporte de las instituciones encargadas de velar por la sostenibilidad de lo construido y propone la creación de comisiones para la implantación futura de sistemas predictivos que mejoren y optimicen la gestión del parque urbano.



# RESUM

És contrastable l'evidència de l'envelliment progressiu del parc edificat de les ciutats, al costat del fort impacte social i repercussió econòmica en termes de manteniment que aquest representa, així com el risc per a les persones que porta associat. En aquest context, la Tesi Doctoral explora vies per intercedir davant aquests fenòmens mitjançant metodologies predictives que abordin la problemàtica sota una perspectiva de grans àrees urbanes. Per aconseguir aquest objectiu, la recerca proposa un sistema predictiu a multiescala de la degradació dels fronts urbans edificats de la ciutat.

La Tesi Doctoral planteja incorporar a les teories existents de durabilitat, cicle de vida i anàlisi del cicle de vida una aportació innovadora fonamentada en la introducció de tècniques d'anàlisi de supervivència predictives, al llarg del temps, en els estudis de durabilitat a les façanes del front urbà. La recerca, per tal d'abastar tota la problemàtica, s'ha estructurat en tres parts en què es contribueix de manera específica i directa a la investigació principal.

A la Part I, Introducció al marc teòric i al laboratori urbà, s'exposen les conclusions a les que ens ha portat la revisió de la bibliografia científica i de la legislació existent, sobre els temes que han suscitat interès per al progrés de la investigació. Un cop presentat el Laboratori Urbà, es justifica i defineix com estructurar els elements objecte d'observació, quines tipologies arquitectòniques resulten de l'estudi, com se situen dins d'una trama urbana, quines relacions s'estableixen amb els fenòmens climàtics i de contaminació mediambientals, quins són els principals agents de degradació i a quin tipus de lesions corresponen, incloent una escala de representació i de gravetat. Amb això definim l'element unitari d'estudi amb les seves característiques morfològiques, d'entorn i d'afectació deixant introduïts els elements bàsics per a la realització d'estudis de seguiment de grans àrees urbanes.

La metodologia d'inspecció, les tècniques d'anàlisi estadística i la implementació d'un aplicatiu en SIG s'investiguen i proposen a la Part II de la Tesi. Pel que fa al model de fitxes per a realitzar les inspeccions de façanes, el document proposat ha estat revisat per experts i optimitzat via mètodes comparatius multicriteri. També s'ha estudiat la fiabilitat dels equips d'inspecció que ha conduït a propostes concretes d'actuació, així com a futures línies d'investigació.

Al Capítol 5 es descriuen les tècniques emprades dins el model d'anàlisi estadística de supervivència aplicant models no paramètrics per a dades amb censura en un interval. S'introdueix l'estimador de Turnbull per a aquest tipus d'anàlisi, com a alternativa a les anàlisis paramètriques. La raó del model respon al tipus d'informació disponible i que aquesta sempre es troba censurada en un rang temporal molt ampli. Les tècniques presentades són fonamentals pel que representen un canvi de paradigma en les estratègies de modelització preventiva.

La metodologia d'inspecció i d'anàlisi de supervivència que es proposen s'han integrat en un entorn de gestió SIG. Per això s'ha implementat un aplicatiu estadístic en QGIS que permet l'exploració territorial, morfològica i de lesions del front urbà i el modelatge dels temps fins a la lesió fent ús de llibreries de R. L'aplicatiu s'ha elaborat en col·laboració amb el Dr. Jacek Rapinski de l'Institut de Geodèsia de la Facultat de Geodèsia i Enginyeria de la Universitat de Warmia and Mazury a Olsztyn (Polònia), el Laboratori d'Edificació i l'IEMAE de l'EPSEB, i ha estat programat en llenguatge Python. Aquesta integració representa una rellevant aportació com a eina de suport a la presa de decisions sobre el parc edificat, quant al coneixement que s'infereix sobre el procés de deteriorament dels fronts urbans.

Amb la metodologia del sistema predictiu disponible s'ha procedit a l'exploració i obtenció de resultats sobre un cas d'estudi. La ciutat escollida ha estat la de L'Hospitalet de Llobregat. A la Part III es descriuen les diferents campanyes d'inspecció que s'han realitzat per tal de millorar la informació disponible i quins barris han estat seleccionats. La investigació ha relaxat hipòtesis prèvies de manera que ha permès que siguin les dades que marquin els focus d'interès més significatius arran de consultar el mòdul d'anàlisi que permet mostrar orientacions, impactes territorials, percentatges d'afectació sobre les parts més representatives de la façana i percentatges basats en els tipus de lesió. Aquests resultats descriptius de l'estat general de la mostra estudiada, són la base de la selecció per a les anàlisis de supervivència i modelització posteriors. En particular, també es proposen i il·lustren tècniques de modelització no paramètriques per determinar quines variables intervenen de forma significativa en el procés d'aparició de les lesions sobre les façanes. Els resultats parcials del cas d'estudi demostren com es pot disposar d'informació rellevant per a una gestió preventiva eficaç.

Les conclusions de la Tesi Doctoral reafirmen la validesa del sistema predictiu plantejat i que es postula com un model eficaç per a la prevenció en la degradació dels fronts urbans. El capítol final també incorpora aspectes de millora de les inspeccions com els mitjans TIC i la formació dels inspectors, i al seu torn apunta propostes per a incorporar dades dinàmiques sobre el territori aprofitant el potencial de QGIS i dotar de més anàlisi estadística a l'aplicatiu FAD. El doctorand argumenta que aquest tipus d'iniciatives requereixen un suport de les institucions encarregades de vetllar per la sostenibilitat del que s'ha construït i proposa la creació de comissions per a la implantació futura de sistemes predictius que millorin i optimitzin la gestió del parc urbà.

# SUMMARY

Evidence from progressive deterioration of the urban building stock is well known. This brings about a large social and economic impact due to maintenance costs and associated personal hazards. This thesis explores ways to tackle these phenomena by means of predictive methodologies from a big urban areas point of view. To this end, we propose a predictive system about the deterioration of urban building areas.

In this thesis we contribute to the existing theories of durability and life cycle analysis by introducing survival analysis prediction techniques in the durability analysis of the urban building stock.

The dissertation is divided into three parts. In Part I, we present a literature review regarding the theoretical and legislative framework. After that, we address the following issues: a) classification of the observed phenomena, b) architectural typologies emerging from the study, c) their location in the urban network, d) their relationship with climatological phenomena and pollution and finally, e) identification of the causes of deterioration and related structural damages, creating a classification according to its extent and its severity. We achieve a full definition of the relevant object of study, including its morphological, environmental and current state characteristics, setting a benchmark for other studies of this type.

Part II covers the methodology of inspections, the statistical analysis and the implementation of a SIG application. The template file for façade inspections has been revised by experts and it has been optimized by using multicriteria methods. We study as well the reliability of the inspection teams, giving rise to specific proposals for improvement and future lines of research.

In Chapter 5 we describe the survival analysis techniques employed in the nonparametric modeling for interval-censored data. The Turnbull estimator has been used as an alternative to parametric analysis due to the structure of the information available. This is a novel approach compared to the state of the art in prediction modeling.

The inspection methodology and survival analysis have been integrated in a SIG management framework. The statistical application in QGIS allows for an exploration of the urban building stock analyzing the landscape, the morphology and the damages using the R libraries. The application, programmed in Python, has been developed jointly by Dr. Jacek Rapinski from the Institute of Geodesy of the University of Warmia and Mazury in Olsztyn (Poland) and the Laboratorio de Edificación and the IEMAE from the EPSEB. This application is a relevant contribution as a tool for decision-making, as it allows making inferences about the deterioration process of the building stock.

Then we apply the proposed prediction methodology to the analysis of a case study. The city that has been chosen for the study is L'Hospitalet de Llobregat. In part III we describe the inspections

conducted in order to select the neighborhoods that allow for maximum data coverage. The research has avoided parametric assumptions and it has been focused on the topics that are more interesting from the point of view of the data collected in terms of orientation, territorial impact, percentage of damages in the representative parts of the façade and percentages of different types of damages. These descriptive statistics of the sample guide the sample selection in the following stages of the survival analysis study. Specifically, we propose and describe non-parametric techniques for the determination of the significant variables in the process of façade deterioration. Results from the case study show how to draw relevant information in order to conduct an effective prevention management.

We conclude showing the validity of the predictive system for the prevention of the building stock deterioration. The final chapter also suggests advice for the improvement of inspections, such as ICT and inspector's training, and for incorporating dynamic data about the landscape exploiting the QGIS tool and the statistical analysis of the FAD plugin. The PhD candidate postulates that such initiatives require a supporting infrastructure from institutions and he advocates the creation of a commission to implement predictive systems that improve the management of the urban building stock.

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

<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

ÍNDICE: Volumen II.....	xxvii
ÍNDICE DE TABLAS: Volumen II.....	xxix
ÍNDICE DE FIGURAS: Volumen II .....	xxxi
Anejos .....	1
ANEJO A. TRABAJOS ACADÉMICOS .....	3
A.1 Estudios de campo .....	3
A.2 Estudios de supervivencia (durabilidad) .....	9
ANEJO B. PREOCUPACIÓN SOCIAL SOBRE EL DETERIORO DE FACHADAS .....	11
ANEJO C. ANÁLISIS PRELIMINARES URBANOS.....	15
C.1 Radiación solar.....	15
C.2 Circulación del viento .....	25
C.3 Lluvia conducida.....	36
C.4 Contaminación atmosférica.....	43
C.5 Reflexión .....	51
ANEJO D. ANÁLISIS DE LOS DOCUMENTOS DE INSPECCIÓN.....	53
D.1 Ficha de evaluación individual de los requerimientos y resultados .....	53
D.2 Evaluación individual de los requerimientos .....	58
D.2.1 Diversidad de las valoraciones. ....	59
D.3 Fichas de campo existentes: ITeC y ITE. ....	61
D.4 Valoraciones de las fichas de inspección de fachadas existentes. ....	76
D.5 Métodos de análisis: El Proceso Analítico Jerárquico, ELECTRA y ARROW y RAYNAUD .....	81
D.6 Fachadas seleccionadas para la prueba de fiabilidad de los datos.....	94
ANEJO E. CATÁLOGO DE MATERIALES .....	95
ANEJO F. FUNCIONALIDAD Y MANUAL DE USUARIO DEL PLUGIN FAD 0.1 .....	101
F.1 Introducción .....	101
F.2 El módulo de Pre-procesado .....	103
F.3 El módulo de Selección de la muestra .....	103
F.4 El módulo de Análisis.....	109
ANEJO G. comunicaciones en congresos .....	115

G.1 XII DBMC .....	115
G.2 XIII DBMC .....	124
G.3 XIV DBMC .....	132

# 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> .....	19
<i>Tabla C.2 Temperaturas anuales por comarcas</i> .....	24
<i>Tabla C.3 Temperaturas máximas, medias y mínimas de las comarcas analizadas</i> .....	25
<i>Tabla C.4 Grado de intensidad solar</i> .....	25
<i>Tabla C.5 Horas e intensidad solar</i> .....	25
<i>Tabla C.6 Grado de regularidad del viento</i> .....	28
<i>Tabla C.7 Grado de duración del viento</i> .....	28
<i>Tabla C.8 Variación de las velocidades del viento por comarcas</i> .....	31
<i>Tabla C.9 Velocidades medias del viento de las comarcas analizadas</i> .....	32
<i>Tabla C.10 Grado de intensidad del viento</i> .....	32
<i>Tabla C.11 Efectos del viento y nivel de impacto</i> .....	35
<i>Tabla C.12 Variación de las precipitaciones</i> .....	38
<i>Tabla C.13 Clasificación de la precipitación según la intensidad</i> .....	38
<i>Tabla C.14 Grado de intensidad de la lluvia</i> .....	38
<i>Tabla C.15 Clasificación de la precipitación según la regularidad (Monjo i Agut, 2008)</i> .....	39
<i>Tabla C.16 Grado de regularidad de la lluvia</i> .....	39
<i>Tabla C.17 Grado de duración de la lluvia</i> .....	40
<i>Tabla C.18 Duración de la absorción (Vallejo, 1993)</i> .....	43
<i>Tabla C.19 Evolución anual de las emisiones atmosféricas en Barcelona</i> .....	45
<i>Tabla C.20 Evolución de emisiones (miles de toneladas CO2 equivalente) por sectores en Cataluña. (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2013)</i> .....	47
<i>Tabla C.21 Parque de vehículos en Barcelona (Autoritat del Transport Metropolità, 2008)</i> .....	48
<i>Tabla C.22 Comportamiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> por modificaciones de la velocidad (Autoritat del Transport Metropolità, 2008)</i> .....	49
<i>Tabla C.23 Velocidad de circulación y grado de contaminación</i> .....	50
<i>Tabla C.24 Congestión y grado de contaminación</i> .....	51
<i>Tabla D.2 Valoración de los campos y criterios de los expertos y promedios globales y relativos respectivos</i> .....	58
<i>Tabla D.3 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha ITeC (I=Individuo) ...</i>	78

<i>Tabla D.4 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha ITE (I=Individuo) .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla D.5 Puntuaciones individuales y media para cada criterio de la ficha LABEDI (I=Individuo) .....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla D.6 Matriz de comparación pareada de los criterios del Método AHP para un ejemplo teórico .....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla D.7 Matriz de comparación pareada de las alternativas del Método AHP para un ejemplo teórico.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla D.8 Puntuaciones para las características específicas de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP .....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla D.9 Puntuaciones para las características específicas de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP .....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla D.10 Matriz de alternativas, criterios y pesos respectivos del Método Electre II .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla D.11 Matriz de sobreclasificación del Método Electre II.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla D.12 Matriz de concordancia del Método Electre II .....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla D.13 Matriz de discordancia del Método Electre II.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla D.14 Zona de sobre clasificación fuerte y sobre clasificación débil del método Electre II .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla D.15 Clasificación directa del Método Electre II .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla D.16 Clasificación inversa del Método Electre II .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla D.17 Clasificación media del Método Electre II .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla D.18 Matriz de clasificación del método Arrow y Raynaud.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla D.19 Matriz de clasificación del método Arrow y Raynaud modificada .....</i>	<i>92</i>

# ÍNDICE DE FIGURAS: Volumen II

<i>Figura C.1</i> Coordenadas terrestres (Maldonado, 2011) .....	15
<i>Figura C.2</i> Representación del movimiento del sol (Gonzalo y Nota, 2004).....	16
<i>Figura C.3</i> Ubicación del sol (Gonzalo y Nota, 2004).....	17
<i>Figura C.4</i> Equinoccios y solsticios (Maldonado, 2011).....	18
<i>Figura C.5</i> Proyección estereográfica.....	20
<i>Figura C.6</i> Partes carta solar (Yáñez, 1988).....	20
<i>Figura C.7</i> Tipología de radiaciones solares.....	21
<i>Figura C.8</i> Coeficiente de absorción para diferentes materiales y colores.....	22
<i>Figura C.9</i> Variación de la velocidad del viento con la altura (García, 1983).....	30
<i>Figura C.10</i> Evolución de la velocidad del viento con la altura (Talayero y Telmo, 2008).....	30
<i>Figura C.11</i> Diferencia de presión atmosférica (García, 1983).....	32
<i>Figura C.12</i> Parámetros del viento (García, 1983).....	33
<i>Figura C.13</i> Efecto de abertura (Granados, 2006).....	34
<i>Figura C.14</i> Efecto de esquina (García, 1983).....	34
<i>Figura C.15</i> Efecto de rebufo (Granados, 2006).....	34
<i>Figura C.16</i> Efecto de rodillo (Granados, 2006).....	35
<i>Figura C.17</i> Efecto Venturi (García, 1983).....	35
<i>Figura C.18</i> Curvas IDF (Muñoz y Ritter, 2005).....	39
<i>Figura C.19</i> Actuación del par viento / lluvia sobre los edificios (Vallejo, 1990).....	40
<i>Figura C.20</i> Desplazamiento del agua escurrida según la inclinación de los planos (Vallejo, 1990)....	42
<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).....	47
<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).....	50
<i>Figura D.2</i> Pesos de las características generales según cada individuo.....	59
<i>Figura D.3</i> Pesos relacionados con la identificación según cada individuo.....	59
<i>Figura D.4</i> Pesos relacionados con la clasificación según cada individuo.....	59
<i>Figura D.5</i> Pesos relacionados con la metodología según cada individuo.....	60
<i>Figura D.6</i> Pesos relacionados con los recursos según cada individuo.....	60

<i>Figura D.7 Pesos relacionados con la calidad de los datos según cada individuo.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura D.8 Pesos relacionados con el análisis de los datos según cada individuo pata.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura D.9 Esquema del Método de Jerarquías .....</i>	<i>81</i>
<i>Figura E.2 Estructura de las tablas de catálogos a partir de la ficha de campo LABEDI .....</i>	<i>95</i>
<i>Figura F.2 Ventana para cargar el Shapefile del municipio en estudio .....</i>	<i>101</i>
<i>Figura F.3 Interfaz de QGIS.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura F.4 Interfaz de FAD 0.1 con acciones comunes entre los distintos módulos .....</i>	<i>102</i>
<i>Figura F.5 Interfaz del módulo Preprocessing de FAD 0.1.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura F.6 Interfaz del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura F.7 Interfaz de Database del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura F.8 Interfaz de Territorial del módulo Sample selection de FAD 0.1.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura F.9 Interfaz de Timeline del módulo Sample selection de FAD 0.1.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura F.10 Interfaz de Parcel del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>106</i>
<i>Figura F.11 Interfaz de Building del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>107</i>
<i>Figura F.12 Interfaz de Facade del módulo Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>108</i>
<i>Figura F.13 Interfaz de Elements del módulo de Sample selection de FAD 0.1 .....</i>	<i>108</i>
<i>Figura F.14 Interfaz de Failure del módulo de Sample selection de FAD 0.1.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura F.15 Interfaz del submódulo Date of analysis del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>110</i>
<i>Figura F.16 Interfaz del submódulo Descriptive del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>111</i>
<i>Figura F.17 Interfaz del submódulo Survival del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>112</i>
<i>Figura F.18 Interfaz del submódulo Test del módulo Analysis de FAD 0.1 .....</i>	<i>112</i>



# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Motivación

Este estudio de investigación se muestra a favor de postular acciones efectivas hacia la conservación y mantenimiento del patrimonio edificado. Siendo relevante el convencimiento personal, basado en la observación de que todos los edificios que conforman las ciudades o asentamientos urbanos constituyen el mayor contenedor de residuos de construcción existentes en el mundo, el hecho de que éstos se hallen ordenados y clasificados cumpliendo con un uso específico, hace que se conviertan en los residuos mejor aprovechados y de máxima sostenibilidad de cualquier ciclo de vida imaginable.

Bajo este prisma, es razonable plantear que toda aportación encaminada hacia la implantación o mejoras de sistemas predictivos de conservación y mantenimiento de la edificación existente o de parte de ella, no sólo mejorará aspectos lógicos de seguridad y económicos, sino que además va a incidir de forma directa en la sostenibilidad y el compromiso que ha de tener el sector de la edificación frente a la minimización del impacto medio ambiental, para garantizar el desarrollo de las generaciones futuras.

En cuanto a si es mejor deconstruir y edificar de nuevo, o conservar en condiciones que no den lugar al deterioro y obsolescencia en la edificación, existen controversias como las que plantean los dilemas de [Lynch y Southworth \(2005\)](#), acerca de que la permanencia conduce al estancamiento mientras que el crecimiento genera inestabilidad. Entre las dos posturas, a nuestro entender, se ha de fomentar una solución de equilibrio entre ambas, buscando optimizar al máximo el tiempo de uso de la edificación existente y diseñando campañas que respondan a la

construcción de nuevas edificaciones que cumplan estrictamente con las necesidades económicas, de coherencia social y de respeto al medio ambiente.

Sin embargo el propósito de esta tesis se centra exclusivamente en explorar cómo se comportan los frentes urbanos de las ciudades, compuestos por las fachadas de los edificios, en cuanto a su durabilidad y el lógico riesgo potencial de siniestro que provoca la presencia de lesiones, a lo largo del tiempo, en las fachadas.

El conocimiento del doctorando adquirido por la experiencia profesional y la docencia ejercidas de forma continuada en el estudio, comprensión y difusión sobre el comportamiento de la degradación que padecen las fachadas en las grandes áreas urbanas, hace que se advierta de las diferencias, y en ocasiones deficiencias, entre los distintos métodos existentes en la actualidad, empleados por los técnicos, para garantizar el cuidado que se ha de dispensar a los edificios construidos.

En referencia a las fachadas, su periodo del ciclo de vida útil debería quedar marcado en su fase de diseño por los elementos constructivos y materiales que las configuran, los criterios que se han tenido en cuenta para determinar su conservación global, así como por el plan de mantenimiento específico que se ha diseñado para garantizar su permanencia. La Asociación Española de Normalización y Certificación define el mantenimiento como “el conjunto de actividades destinadas a mantener o a restablecer un bien a un estado o a unas condiciones dadas de seguridad en el funcionamiento para cumplir con una función requerida” (Boucly, 1999). Si estos requerimientos para establecer la vida de referencia de diseño de las fachadas se cumpliera, este estudio partiría del análisis de sus características constructivas y de su histórico en estado de servicio para determinar cuáles son los ciclos de durabilidad de la vida útil de las mismas. Sin embargo en el sector de la edificación, a diferencia de otros sectores, no se dispone de una certificación al uso del producto edificio o de partes de él. Así pues hay que poner en duda aquellos criterios de conservación que no estén fundamentados por estudios de investigación científicos y que no propongan acciones contrastadas de mantenimiento. Por lo tanto, delante de este vacío en el sector y con el fin de hallar respuestas para determinar la durabilidad que muestran las fachadas a lo largo del tiempo, la investigación requiere partir de un estudio diagnóstico previo de los estados de degradación y lesión observables en las fachadas, mediante la realización de una prospección de campo.

En base a esta situación que caracteriza al parque edificado, la realización de los objetivos de esta Tesis Doctoral serían inalcanzables si no se dispusiera de las bases de datos, sobre observaciones realizadas en fachadas, que existen en el Laboratorio de Edificación y el Instituto de Estadística y Matemática Aplicada a la Edificación de la EPSEB<sup>1</sup>, de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Estas dos entidades disponen en la actualidad de más de 21.000

---

<sup>1</sup> Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona.

inspecciones de fachadas en distintas ciudades de Europa y América. En el Anejo A se pueden consultar en su totalidad ordenados por su localización y año de realización.

Es importante destacar que no es objeto de esta investigación determinar las causas desencadenantes de las lesiones observadas. Nuestro interés, con marcado carácter “epidemiológico”, se centra en estudiar cuál es el estado evolutivo de la degradación de los elementos arquitectónicos situados en el entorno urbano, con efectos predictivos, a través de la detección de presencia de lesiones y su progresión.

Los argumentos expuestos sirven de base para sustentar la necesidad y la oportunidad de esta investigación, con el fin de aportar conocimiento y rigor a una problemática social creciente y facilitar herramientas que permitan garantizar la durabilidad, la sostenibilidad y seguridad de la envolvente del frente urbano, formado por las fachadas, de los edificios existentes en las ciudades.

### 1.1.1. Objetivos y justificación

El objetivo de esta investigación consiste en establecer un sistema predictivo multiescala que basado en la observación, la experimentación y la recopilación y análisis estadístico de datos, sea capaz de adelantarse a la inevitable degradación de las fachadas de los edificios existentes de uso residencial.

El estudio se enmarca en un análisis de supervivencia (durabilidad), a través del cual se define el tiempo transcurrido desde un origen (instante en que entra en servicio el edificio), hasta la observación del evento o suceso de interés (aparición de la lesión). Se considera que dicho estudio se suscribe en un contexto escalar, en el que los diferentes niveles de la información del estado de degradación de las fachadas están interrelacionados, bajo un concepto de análisis basado en la observación del elemento unitario fachada (microescala), para llegar a explicar el comportamiento global del frente urbano (macroescala).

A partir de los resultados obtenidos a microescala, éstos se han de procesar para obtener cuál es la problemática real del conjunto de las fachadas y plantear posibles medidas correctoras para adelantarse a la aparición de futuras disfunciones, con el fin de minimizar el impacto de la degradación y riesgo que experimentan en la actualidad. A su vez, esta información permite mejorar la comprensión del comportamiento diferencial que siguen ciertas fachadas, por sus características particulares, respecto a la totalidad de la población analizada. Por consiguiente, al aplicar el concepto de multiescala en la investigación es posible obtener dentro del conjunto estudiado una retroalimentación entre la microescala y la macroescala que establecerá, mediante un mayor conocimiento, cual es el comportamiento real de la durabilidad en ambos casos.

El rigor y la validez del sistema de gestión predictivo que se pretende, así como las ventajas e inconvenientes que muestre, se ha de poder contrastar sobre una población suficientemente representativa y con características poblacionales. Partiendo de esta premisa, el estudio muestral

se quiere centrar en la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat de la provincia de Barcelona. Esta puede ser una ciudad candidata después de analizar toda la información del conjunto de inspecciones existentes sobre fachadas disponibles en varias ciudades, donde se observa que, con independencia de la ubicación, edad y tamaño de la inspección, todas ellas muestran un estado de degradación avanzado. La muestra seleccionada contempla la totalidad de los frentes urbanos de los edificios. Así pues, las inspecciones realizadas en la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat entre los años 1997 y 2002, con un total de 13.193 fachadas, cumplen con un carácter poblacional y el de parque edificado que no ha sido alterado por intervenciones de adecuación anteriores a la fecha de las primeras inspecciones.

La investigación quiere aportar un avance significativo de conocimiento predictivo de la durabilidad en un sector que ha experimentado un gran desarrollo constructivo y que ha generado durante las últimas décadas un ingente volumen de edificaciones en todo el mundo. Esta realidad, así como una deficiente gestión en materia de conservación de los edificios construidos, fundamentalmente en los núcleos urbanos de las ciudades, nos ha llevado a situaciones de degradación global empíricamente constatables en las fachadas del parque inmobiliario.

Como referencia de magnitud, el parque edificado destinado a vivienda en España, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), es de 9.730.999 edificios<sup>2</sup> y de éstos, en el ámbito de Cataluña le corresponden 1.192.463<sup>3</sup>. Remarcar que antes de 1960 existían en España 3.251.179 y en Cataluña de 371.833. Esto supone que estos últimos tienen una antigüedad superior a los 50 años, representando un 33,41% y un 31,18%, respectivamente, sobre la totalidad de la edificación.

Por otra parte, el volumen edificado censado en el periodo 1960 – 2011 es significativo en cuanto al problema emergente que se va a suscitar a corto plazo en el sector, teniendo en cuenta la antigüedad del parque edificado, la poca preocupación, seguimiento y cuidado preventivo que ha existido hasta el momento en los edificios y por supuesto sobre sus fachadas.

La problemática evidente y en cierta forma descontrolada de la degradación de las fachadas de los edificios requiere alertar a las entidades públicas y privadas para que, dentro de su cometido de velar por el patrimonio arquitectónico, agilicen medidas urgentes de conservación y mantenimiento que garanticen el buen estado de los frentes urbanos.

Señalar que los datos extraídos, sobre el estado de las Inspecciones Técnicas de Edificios (ITE) en el territorio nacional elaboradas por el observatorio ITE promovido por la Secretaría del Estado de la Vivienda y Actuaciones Urbanas del Ministerio de Fomento que ha sido desarrollada por el Instituto de la Construcción de Castilla y León, arrojan para el año 2010 unos resultados de estados desfavorables de las inspecciones que se muestran en la Figura 1.1. Estos valores, que se dan

---

<sup>2</sup> Última actualización, publicada a 1 de noviembre de 2011 (fecha de realización de los Censos de Población y Viviendas).

<sup>3</sup> Según los datos definitivos del Censo de edificios 2011. Última actualización publicada a 19 de diciembre de 2013 (idescat).

como definitivos para este año, demuestran que el elemento fachada en el edificio es el que según los técnicos muestra mayores deficiencias; tendencia que siguen las inspecciones recopiladas y procesadas en el año 2012, en el que el elemento fachada también se destaca como el más representativo en cuanto a lesiones y que también se refleja en el año 2014.

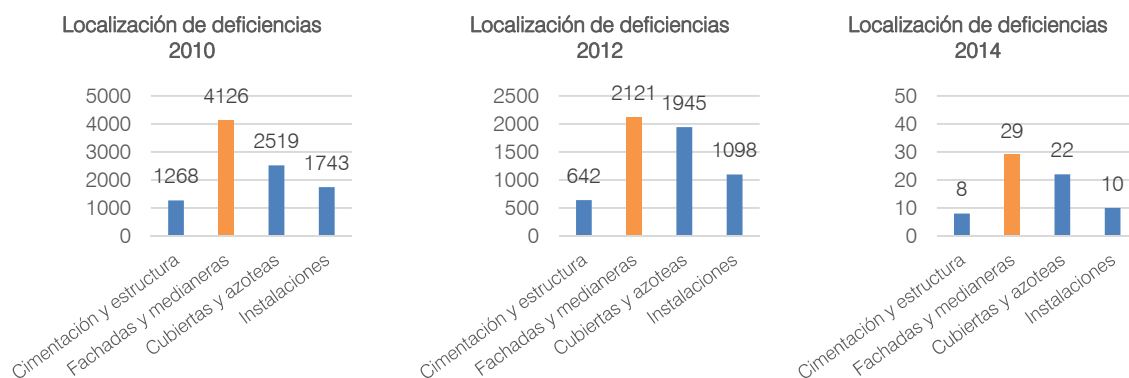


Figura 1.1 Localización de deficiencias halladas en las inspecciones entre los años 2010 y 2014 (Observatorio ITE, 2010; 2012; 2014)

Una mejora en la búsqueda de soluciones para las fachadas, que no se centren exclusivamente en futuras rehabilitaciones, pasa por instrumentalizar un sistema eficaz que racionalice el problema anterior, mediante estudios analíticos fiables y consistentes, con fundamentos ampliamente generalistas y válidos para la mayoría de los individuos que representen similares características constructivas y de uso. Sin embargo a lo largo de la investigación, como será ineludible, la estrategia para la toma de decisiones preventivas específicas, estará necesariamente vinculada a la ciudad que participara en el ensayo como laboratorio de campo, ya que dicha estrategia se verá condicionada por ciertos parámetros territoriales, especialmente aquéllos que son propios del entorno urbano al que pertenece.

La incorporación de variables de morfología territorial en el estudio del frente arquitectónico interviene de forma directa en el desarrollo del comportamiento estricto de la durabilidad de las fachadas. Estas variables vendrán determinadas por ubicación geográfica y situaciones derivadas del medioambiente. Con el fin de mejorar la observación de las tendencias que siguen los resultados hallados de forma más eficaz, se plantea la incorporación de un sistema de gestión que contemple los principios de actuaciones preventivas y que facilite información geográfica específica. El sistema ha de visualizar la situación de las fachadas inspeccionadas y evaluar las diferencias más significativas que se produzcan en el comportamiento evolutivo de la degradación de las fachadas comparables a lo largo del tiempo.

Así el planteamiento de análisis a multiescala del frente urbano de esta investigación ha de permitir transformar una gran cantidad de información compleja, en un sistema predictivo capaz de elaborar y analizar dicha información, en datos relevantes y eficaces para la toma de decisiones. Para ello será necesario disponer de un conocimiento previo del paradigma de la realidad

observada a través de procedimientos de prospección y del tipo de indicadores que son más significativos, sirviendo al propósito de predecir el pronóstico evolutivo de la degradación, desde el instante en que se detecta la disfunción de un elemento, con respecto a sí mismo y a su progresión causal. Así pues, se quiere demostrar que el control predictivo representa en sí un sistema de información, que permita establecer los tiempos óptimos de actuación preventiva para minimizar el impacto de intervención no programada y facilitar a los responsables de la gestión urbana una mejor respuesta a las problemáticas que se plantearán en un futuro inmediato.

La Tesis Doctoral desea incorporar a la investigación un sistema de información geográfica, en adelante SIG<sup>4</sup>, que permita analizar todos los datos disponibles a microescala, de los elementos que han sido evaluados en cada una de las fachadas analizadas, la observación mediante la superposición simultánea de la información y si ello aporta un valor añadido fundamental en las estrategias de toma de decisiones.

Finalmente se pretende implementar la metodología en forma de un complemento (*plugin*) de SIG, de forma que permita la visualización de los datos de campo, en variables georreferenciadas, que posibilite realizar los análisis de durabilidad y riesgo con una exploración exhaustiva de la información para una estimación rigurosa de la evolución de las lesiones de las fachadas del frente urbano.

### 1.1.2. Legislación existente

Con la finalidad de averiguar la existencia de un marco normativo sobre la conservación de las fachadas de los edificios, se ha realizado una revisión bibliográfica de la legislación existente, no hallando constancia de una regulación específica de aplicación a nivel europeo.

Sin embargo algunos países integrantes de la UE disponen de normativas sobre edificación que incluye, en mayor o menor grado, el subsistema fachada. En este sentido desde el marco Español se integra la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) ([Ley 38/1999, España](#)), la cual regula el proceso de edificación estableciendo las exigencias técnicas y administrativas de la edificación, los agentes que intervienen, así como las responsabilidades y garantías que se derivan de sus actuaciones. Dentro de este último apartado cabe destacar, referente a la conservación de las fachadas, la obligación de los propietarios a conservar en buen estado la edificación mediante un adecuado uso y mantenimiento de la misma. Asimismo será obligación de los usuarios, sean o no propietarios, la utilización adecuada de los edificios o de partes de los mismos.

Este punto reafirma una falta de sensibilización por parte de la sociedad actual y también de un control más exhaustivo de las administraciones hacia la cultura del mantenimiento, prueba de este hecho, como ya se ha reiterado con anterioridad, es el estado de deterioro en que se encuentran las fachadas de muchos edificios.

---

<sup>4</sup> Su acrónimo inglés es GIS "Geographic Information System"

Posteriormente, y coincidiendo con la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE) ([Real Decreto 314/2006, España](#)), se incorpora el marco normativo que regula las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, en desarrollo de lo previsto en la citada LOE. Entre sus objetivos principales establece que las exigencias básicas deben cumplirse en el proyecto, la construcción, el mantenimiento de los edificios y sus instalaciones. Para alcanzar las exigencias planteadas durante las fases de mantenimiento y conservación de los edificios y/o sus elementos, plantea la necesidad de elaborar planes de vigilancia y mantenimiento preventivo para cada componente y exigencia básica, y es precisamente en este contexto que nuestra investigación aporta un valor añadido ya que tras los análisis de durabilidad que se quieren llevar a cabo seremos capaces de proponer medidas preventivas con justificación científica.

A nivel de la unidad edificio destinado a viviendas, que incluye el subsistema fachada, tenemos el Libro del Edificio ([Decret 206/1992, Catalunya](#)) como primer intento de gestión integrada de la información identificativa, técnica y legal, relativa al proyecto, construcción, control de calidad de materiales y procesos, escrituras de obra nueva, propiedad horizontal, en su caso, final de obra, inscritas en los registros de propiedad correspondientes, manual de uso y mantenimiento. Así mismo, ha de reflejar las tareas de mantenimiento realizadas, las incidencias que se produzcan y las reformas o rehabilitaciones que se realicen. Establece revisiones periódicas de los distintos sistemas y sus componentes, responsabilizando a la propiedad individual de la vivienda y a la comunidad de propietarios de los elementos comunes entre los que se incluye el subsistema fachada. Como medida de control del estado del parque edificado de viviendas existente y con el objeto de evitar el deterioro e impulsar la actualización y mejora del mismo contamos con el Libro del Edificio de Viviendas Existentes ([Decret 158/1997, Catalunya](#)), de igual contenido que el decreto anterior, pero éste incluye, además, un dictamen técnico que establece las obras a realizar y su urgencia de ejecución. Se establece un programa para la revisión del estado de conservación de los edificios de viviendas plurifamiliares construidos antes del año 1960 destinado a residencia habitual y, especialmente, a los incluidos dentro de aquellos perímetros que se delimitan en virtud de convenios con los ayuntamientos, generalmente zonas urbanas sometidas a procesos de envejecimiento de la edificación.

La normativa más desarrollada respecto al mantenimiento y regulación de los elementos incorporados a la fachada, que además sirve de referencia para otros ayuntamientos de la provincia, se encuentra en la Ordenanza de los usos del paisaje urbano de la ciudad de Barcelona ([Ordenança 26/03/1999, Barcelona](#)) que regula los usos del paisaje urbano, definiendo este espacio como aquél delimitado por el plano horizontal: calles, aceras, parques y plazas, plano vertical: fachadas de los edificios y el medio ambiente, estableciendo dos tipos de uso: natural y excepcional. Somete cualquier acción realizada en las fachadas de los edificios a la licencia municipal y establece la obligatoriedad del Certificado de Seguridad de los paramentos exteriores para edificios a partir de los 15 años de vida que ha de ser renovado cada 10 años. Regula detalladamente fachadas principales, medianeras, azoteas y cubiertas y define las infracciones y

sus correspondientes sanciones económicas, siendo los responsables del cumplimiento de esta ordenanza la propiedad, comunidad de propietarios y/o el titular de la actividad que se publicita.

La Ley sobre la Propiedad Horizontal ([Ley 49/1960, España](#)) y su posterior reforma ([Ley 8/1999, España](#)) han pretendido adaptarse a las exigencias de los cambios de la sociedad, regulando el régimen de comunidad de bienes, reconociéndolo como concepto jurídico al admitir la inscripción registral del edificio como unidad, el cambio a propiedad horizontal y la inscripción de cada unidad con su parte correspondiente de elementos comunes, y posteriormente actualizando el funcionamiento de la junta de propietarios flexibilizando los mecanismos de toma de decisiones para estar en condiciones de acometer todas las acciones que mantienen las condiciones del edificio y en su caso las innovaciones necesarias debidas a las nuevas tecnologías y las normativas que condicionan la obsolescencia y alargan la vida útil del edificio.

Una multiplicidad de textos legales, desde inicios del presente siglo, han dejado constancia de la preocupación generalizada por el concepto de vivienda digna y asequible, y de un parque construido en constante mejora para evitar su envejecimiento, deterioro y ruina, lo que a su vez se traduce en sostenibilidad territorial. En este contexto, en 2006 se publica un reglamento que desarrolla íntegramente la ley de urbanismo para el fomento de la vivienda asequible, de la sostenibilidad territorial y de la autonomía local ([Decret 305/2006, Catalunya](#)). Entre muchos aspectos urbanísticos que regula detalladamente, se refiere a la vivienda de protección oficial, los deberes de propietarios y usuarios en su caso en cuanto a conservación de bienes inmuebles, declaración del estado de ruina de un inmueble y sus diversos supuestos. A su vez sirve como punto de partida para el desarrollo de la ley sobre el derecho de la vivienda ([Llei 18/2007, Catalunya](#)) que pretende transformar el mercado de la vivienda de la manera más estructural posible adaptándose a las nuevas realidades del mercado. Apuesta por la creación de un parque específico de viviendas asequibles que permita atender las necesidades de la población que necesita alojamiento, ha de permitir la movilidad y la adaptación a las necesidades cambiantes de las personas, y sobretodo integrado, tanto en lo que se refiere a entorno físico como desde el punto de vista social. La denominada “cuestión urbana”, según la cual la segregación de las personas en el espacio en función de sus niveles de renta es uno de los peligros más graves que amenazan la convivencia en Europa occidental, es una preocupación a la cual esta ley quiere dar respuesta.

L'Agència de l'Habitatge de Catalunya ([Llei 13/2009, Catalunya](#)) es una empresa pública catalana que gestiona, estimula, solventa, hace mediación social y sanciona, en su caso, todo lo referido a la competencia sobre vivienda que es propia de la Comunidad Autónoma de Cataluña. Entre sus funciones están gestionar y ejecutar el programa de inspección técnica de edificios, tramitación y control de las cédulas de habitabilidad, evitar que persona alguna quede excluida del acceso a una vivienda por motivos económicos y garantizar la estabilidad y la seguridad de los residentes más vulnerables, velar por el cumplimiento de los parámetros de calidad y accesibilidad de las viviendas y de tomar las medidas necesarias para garantizar el buen uso, la conservación y la rehabilitación.



La Inspección Técnica de Edificios, ITE, ([Decret 187/2010, Catalunya](#)) es el instrumento que nos permite garantizar los niveles de calidad exigibles a los edificios de viviendas. Se realizan inspecciones visuales y a propuesta del técnico competente se solicita posteriores diagnósticos y pruebas necesarias. El técnico competente califica el estado del edificio como apto con deficiencias leves o no apto con deficiencias graves, estableciendo las obras a realizar y su plazo de ejecución. En caso de incumplimiento interviene la administración local, que asimismo será informada en caso de infrahabitabilidad. Este instrumento adquiere el carácter de obligatorio en todo el territorio español a partir de la publicación del [Real Decreto Ley 8/2011 \(España\)](#).

A nivel europeo, nos referiremos a Francia y Reino Unido que disponen de legislación y organismos que regulan la práctica de la construcción y la garantía de acceso a una vivienda digna evitando la segregación por motivos de renta entre otros.

En Francia, el [Code de la construction et de l'habitation \(2014\)](#) va más allá del edificio construido y la acción de edificar, abarca todo el mercado inmobiliario y de la construcción, rigiendo tanto las sociedades constructoras como las sociedades inmobiliarias. Establece las exigencias básicas que han de cumplir los edificios en general y los edificios destinados a vivienda en particular. Regula el derecho a una vivienda digna ya sea por compra o alquiler, la mejora de las viviendas existentes, y las ayudas personalizadas para alcanzar estos derechos. También incluye la vivienda de protección oficial. Menciona el mantenimiento en general, especificando en los equipos de ascensores e instalaciones como gas, agua y electricidad por los riesgos que implica su deterioro, detallando requisitos y periodificación. Así mismo regula los edificios en situación de ruina e/o insalubres. Todo lo mencionado dispone de sus reglamentos a cumplir y sanciones en caso de incumplimiento. En cuanto a la mejora del parque de edificios existente, se habla de mantenimiento correctivo: rehabilitación, obras después del fallo, pero no refleja el concepto de mantenimiento preventivo. Encontramos paralelismos con nuestra regulación relativa a la construcción ya que disponen de un código de la construcción y de la vivienda que regula la actividad de construcción de edificios y las condiciones de la vivienda, requisitos a satisfacer y el correspondiente régimen sancionador, si procede. El mantenimiento de la edificación y de la vivienda está presente en todo el texto, como concepto a seguir también especificando los obligados a mantener y sus respectivas sanciones en caso de incumplimiento si se llega al estado de ruina y a pesar de ser requeridos no se procede a las acciones necesarias para rehabilitación. El concepto de mantenimiento preventivo no existe como tal, sólo en el caso de ascensores e instalaciones se establece la necesidad de un plan y su seguimiento mediante un contrato de mantenimiento con una empresa especializada en el sector

La *Agence Nationale de l'Habitat* (ANAH) es un organismo cuyo objetivo es aplicar la política nacional de desarrollo y mejora del parque de viviendas privadas existentes. De vocación social, otorga subvenciones a los propietarios de las viviendas, para lo que requiere de una evaluación del estado de conservación de los edificios de viviendas y viviendas individuales existentes. Con este objetivo ha creado un método de evaluación de la degradación de las edificaciones existentes que consta de un informe técnico y una matriz de evaluación del estado del edificio y

ha publicado una guía que explica de manera muy detallada el uso y desarrollo del informe técnico y la forma de completar la matriz llegando a establecer unos indicadores de la degradación del edificio (ANAH, 2010). Hablamos de un tipo de mantenimiento correctivo que nos lleva a la intervención, reparación, sustitución o rehabilitación, pero no se considera el mantenimiento preventivo. Esta tabla de Evaluación de la degradación de la vivienda es equiparable a la Inspección Técnica del Edificio, que tiene el objetivo de impedir la degradación del parque edificado destinado a vivienda estableciendo la degradación del edificio, dejando constancia de las lesiones, su amplitud, el riesgo para las personas y la estabilidad del edificio y estableciendo acciones a tomar como análisis específicos, mantenimiento preventivo, reparación y sustitución y en su caso emisión de un certificado de aptitud del edificio.

La *site des programmes d'amélioration de l'habitat*, es una página web<sup>5</sup> de apoyo a ANAH, que responde a los particulares y demás agentes que intervienen en la mejora de las viviendas. Contiene información sobre los programas de ayuda, requisitos, herramientas de evaluación y sus correspondientes guías metodológicas. Además dispone de información en formato SIG sobre la localización de los programas de ayuda y su grado de aplicación.

En el Reino Unido, *British Standards Institution* (BSI) es una multinacional cuyo fin se basa en la creación de normas para la estandarización de procesos. BSI es un organismo colaborador de International Organization for Standardization (ISO) y proveedor de normas como ISO 9001:2008 (Internacional), ISO 14001:2004 (Internacional) e ISO/IEC 27001:2005 (Internacional). Entre sus actividades principales se incluyen la certificación, auditoría y formación en las normas. BSI fue fundada por el Comité de Ingeniería de normas de Londres en 1901 y es la organización que desarrolla la normativa en Inglaterra equiparable a AENOR en España y AFNOR en Francia. Además, en lo referente a las normas ISO, el BSI es el comité técnico que elabora la ISO 15686-1:2000 (Internacional), *Buildings and constructed assets, Service life planning* (Edificios y parque construido, Planificación de la Vida Útil). Consta de diez partes que se van desarrollando individualmente. La primera parte, que ha sido actualizada en el año 2011, establece el marco de trabajo e identifica los principios generales para la planificación del mantenimiento del edificio con el objeto de que se cumplan las exigencias de confort requeridas a lo largo de la vida útil. El ciclo de vida de un edificio incluye desde el inicio del proyecto, definición, diseño, construcción, puesta en marcha, funcionamiento, mantenimiento, renovación, sustitución, hasta el derribo y eliminación final en su caso, reciclaje o reutilización del edificio o partes del mismo (componentes, sistemas, instalaciones, materiales, etc.).

*Homes & Communities Agency*<sup>6</sup> es la agencia nacional de la vivienda y de la renovación del parque edificado de Inglaterra. Contribuye al crecimiento económico del sector dando ayudas económicas a las comunidades para renovar y actualizar sus viviendas o para la adquisición de nuevas viviendas. Así mismo, gestiona y regula la vivienda de protección oficial (precios

---

<sup>5</sup> [www.lesopah.fr/programmes/opah.html](http://www.lesopah.fr/programmes/opah.html)

<sup>6</sup> <https://www.gov.uk/government/organisations/homes-and-communities-agency>

asequibles). Establece los estándares que han de cumplir las viviendas pero sólo interviene en caso de siniestro o grave riesgo. Esta organización opera en toda Inglaterra. Sus objetivos son: el acceso a una vivienda digna y a precio asequible, sea de compra o alquiler; la actualización de la vivienda existente ajustándose a conceptos de eficiencia y sostenibilidad; la revitalización del mercado de la construcción.

Cabe destacar que con medidas de actualización de la vivienda se pretender mejorar todo aquel parque que ha quedado obsoleto desde el punto de vista tecnológico. Dichas acciones de mejora contribuyen al alargamiento del ciclo de vida y la durabilidad del parque edificado.

## 1.2. Planteamientos de la investigación

En la investigación de la Tesis Doctoral se parte de una problemática preliminar que identifica la existencia de una huella extensa de obsolescencia generalizada, no resuelta, en la inmensa mayoría de las fachadas de las ciudades del mundo. Aunque ésta no va a ser objeto de estudio, por su extensión, sí que es necesario referenciarla con el fin de entender la creación de ciertas entidades, dentro de la investigación, que son necesarias para fortalecer una visión de compromiso frente a una cuestión de índole social.

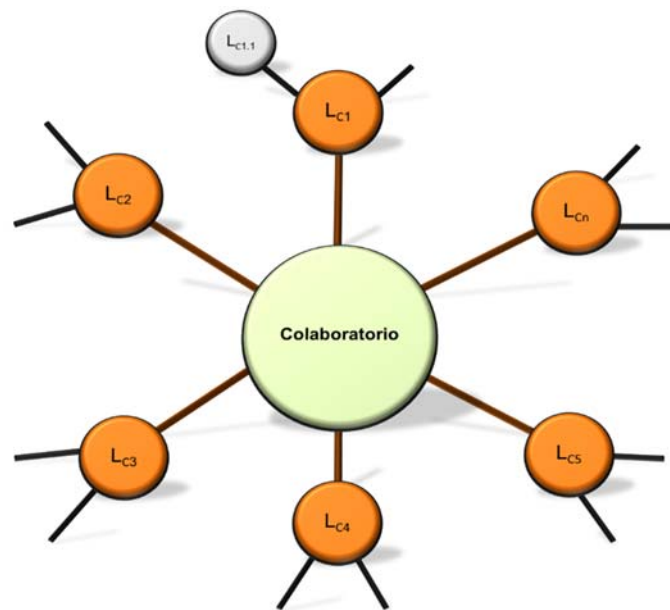
La estructura organizativa en la cual nos vamos a apoyar, para alcanzar una propuesta con una visión sistémica de la problemática, parte de la urgencia de disponer de un núcleo de gestión integral denominado Colaboratorio, su función estratégica pasa por la aglutinación de un determinado número de ciudades, comprometidas con la durabilidad y la sostenibilidad, que estén dispuestas a permitir la aplicación de políticas de racionalización sostenible de un parque edificado. Para conseguir alcanzar estos logros de repercusión social va a ser preciso habilitar unas entidades dinámicas como los Laboratorios Urbanos con la voluntad de generar la red que permita la acumulación de experiencias y la transmisión del conocimiento globalizado hacia el Colaboratorio.

Según William Wulf, el concepto de Colaboratorio se podría definir como un centro sin paredes que promueve la difusión del conocimiento entre investigadores, con intereses comunes, independientemente de su ubicación geográfica (Kouzes *et al.*, 1996). Es evidente que esta transmisión libre y colaboracionista de la información, favorece el intercambio de datos y abastece de los mismos a otras disciplinas que dependan de esta información, para mejorar su propio conocimiento, como podrían ser la rehabilitación o la construcción de nuevos edificios. Sin embargo el mayor beneficio se alcanzaría dentro del propio marco de la predicción de la durabilidad de los frentes urbanos de las ciudades.

Así pues, en cada Laboratorio Urbano, que representaría a su ciudad, ha de ser posible implementar todos los procedimientos generales diseñados en el sistema predictivo de esta investigación, complementándose con aquellas variables específicas que resulten de situaciones

particulares, surgidas de las consideraciones entre tecnologías constructivas y de las medioambientales de su entorno.

La experiencia personal nos permite argumentar que el enfoque planteado no resulta utópico, ya que se han realizado ensayos de prospección y participación en distintas ciudades de Europa y América con suficiente éxito como para garantizar la potencialidad organizativa planteada, sobre redes de conocimiento, entre ciudades. En la Figura 1.2 se muestra un esquema de red funcional de los distintos Laboratorios Urbanos vinculados a un posible Colaboratorio gestor de distintos frentes urbanos.

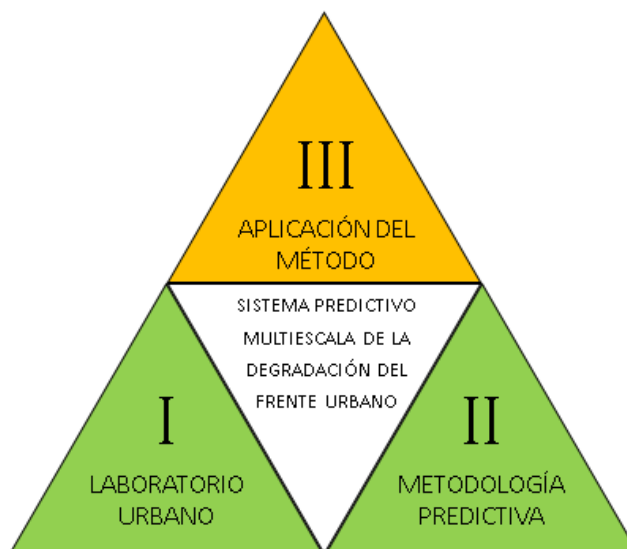


*Figura 1.2 Red funcional del Colaboratorio*

Habrá que entender, dentro de esta investigación, al Laboratorio Urbano como aquel espacio físico que va a delimitar el ensayo, aportando los elementos de estudio, las variables a considerar en las fachadas y su ubicación, así como, qué elementos de inspección son necesarios para obtener los datos suficientes para determinar su estado más representativo de degradación en condiciones reales de servicio y a lo largo del tiempo. Es evidente que el método de detección a desarrollar no está exento de dificultad, dada la gran cantidad de variables que se debe procesar, pero es imprescindible para llegar a disponer de la información suficiente que permita responder e impactar de forma efectiva la problemática actual.

Por tanto, para afrontar la creación de un sistema generalista capaz de recoger y responder a múltiples casuísticas, han surgido distintos campos de estudio que se han tenido que abordar de forma individual y que a su vez, cada uno de ellos, han obligado a generar o implementar metodologías conceptuales, analíticas y de gestión específicas sin las cuales habría sido imposible llegar a unos resultados mínimamente aceptables.

El planteamiento de la investigación se va a estructurar mediante tres grandes bloques temáticos que permiten abordar toda la problemática científica y que servirán para describir los distintos objetivos marco y específicos para cada una de las áreas resultantes. En la Figura 1.3 se establecen los ámbitos de las grandes áreas de conocimiento que intervienen de forma relevante en la investigación.



*Figura 1.3 Esquema estructural de la Tesis Doctoral*

Cada una de las áreas va a responder a sus necesidades propias sin perder bajo ningún concepto la visualización de las pretensiones del conjunto de la investigación, así pues, a través del primer bloque que está representado por el Laboratorio Urbano, se profundiza en el conocimiento de las características urbanas de la ciudad, las edificatorias de las fachadas vinculadas al espacio urbano y su tecnología constructiva. Seguido del segundo bloque que fija cuáles son las metodologías predictivas que darán contenido a la propuesta del sistema multiescala del frente urbano y como éste se ha comportado en la ciudad que sirva al propósito.

### 1.2.1. Objetivos y metodología de la tesis

Como se ha argumentado en los apartados anteriores el objetivo general de esta tesis es el de contribuir a la creación de un sistema predictivo multiescalar de la degradación del frente urbano y su voluntad de experimentación en la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona). Con ese fin se van a implementar análisis estadísticos de supervivencia novedosos en el campo de la edificación, apoyados por una gran base de datos generada por inspecciones sobre el parque edificado de las fachadas de la ciudad, con la incorporación de una herramienta adaptada de gestión de la información georreferenciada mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Para conseguir el objetivo general se ha planteado una estructura de investigación secuencial basada en unos objetivos marco, que acoten los ámbitos de actuación de cada una de las áreas

de interés citadas con anterioridad. La investigación propone aquellos objetivos específicos que persiguen dar respuesta a los objetivos marcados y la metodología a emplear para alcanzarlos:

- En cuanto al entorno del Laboratorio Urbano:
  1. Clasificar las partes y los elementos arquitectónicos que formalizan las fachadas principales de los edificios.
  2. Establecer los factores territoriales que influyen significativamente en la vulnerabilidad del frente urbano.

La metodología para alcanzar estos dos objetivos se va a basar en la recopilación bibliográfica que describa, por una parte, la configuración de las ciudades a través de sus distintos ciclos de desarrollo, formas y elementos que las caracterizan, extrayendo la información necesaria desde el punto de vista urbanístico y de diseño urbano (formatos del trazado viario público, orientaciones de los frentes urbanos en cuanto a su grado de impacto climáticos, ...), que permitan definir los indicadores medioambientales y territoriales que influyen en la durabilidad de las fachadas de los distintos frentes urbanos y, por otra parte, qué tipos de clasificación sobre cerramientos existen en función de la forma, sistemas constructivos o aspectos funcionales de los mismos, que ayuden a determinar qué zonas de las fachadas urbanas son más sensibles a presentar degradaciones o qué elementos son más propensos a sufrir una lesión.

Partimos del planteamiento que la ciudad funciona como un laboratorio de ensayo urbano que dispone de múltiples fachadas (individuo estadístico) concretas y que cada fachada representa en sí una probeta sometida a solicitudes reales, continuas y a lo largo del tiempo.

- En cuanto al área de la metodología predictiva:
  3. Determinar el modelo de inspección para la prospección a multiescala de poblaciones heterogéneas.
  4. Aplicar técnicas estadísticas de análisis de supervivencia para definir estimadores de durabilidad y riesgo para la predicción de la evolución del frente urbano.
  5. Implementar un sistema de información geográfica (SIG), como un modelo de gestión que contemple los principios de actuaciones preventivas en la toma de decisiones estratégicas.

Para ello se marcarán unos criterios generales y otros de específicos que permitan definir los contenidos estratégicos y de formato que deben contemplarse dentro del documento de las inspecciones. Esto va a permitir comparar distintas metodologías de inspección existentes y ver cual de ellas se ajusta mejor a los requerimientos establecidos y evaluar el grado de

cumplimiento de cada criterio, permitiendo validar un modelo de inspección factible y con características de diseño universal.

Validado el modelo de prospección, se estudiará el grado de fiabilidad de los datos recogidos en las inspecciones, así como la de los inspectores, analizando la variabilidad que existe entre ellos y qué consecuencia puede tener en los resultados del análisis preventivo de la durabilidad.

El siguiente paso consistirá en introducir y adaptar al campo tecnológico de la edificación tres conceptos básicos en el análisis de la durabilidad (denominación conocida como supervivencia en el campo biomédico, fiabilidad en el campo tecnológico-industrial o análisis de eventos de la historia en el ámbito social). Éstos son: el fallo, la función de durabilidad y la función de riesgo.

Finalmente, se implementará dentro de un sistema de información geográfica (SIG) un modelo de consultas y de gestión para la toma de decisiones estratégicas, partiendo de un estudio previo de la literatura científica y de la búsqueda de experiencias similares sobre dicho sistema. Éste ha de ser capaz de dar respuestas satisfactorias a los elementos simples en los que se subdividen las fachadas o como grupo muestral. También ha de permitir establecer el análisis global del comportamiento de la durabilidad de grandes conjuntos a nivel de calles, barrios y distritos de la ciudad.

Se desea que los ajustes o implementaciones que requiera el sistema para cumplir con las necesidades de la investigación sean desarrollados dentro del propio SIG, mediante rutinas que establezcan una doble función. En primer lugar, han de permitir un control de minimización de errores en los datos tanto de campo como de los producidos por los inspectores que han participado en las tareas de inspección. En segundo lugar, y de forma complementaria, han de ser capaces de dar visibilidad espacial a las situaciones de singularidad territorial para tipos de muestras que estén dentro de conductas de durabilidad similares.

Mediante la incorporación de un módulo de análisis estadístico específico sobre metodologías propias del análisis de supervivencia para un parque urbano bajo estudio, complementado con los datos territoriales y climatológicos existentes en las ciudades, se estará en condiciones de extraer el conocimiento suficiente para dar respuesta al comportamiento de los frentes urbanos en cuanto a su deterioro a lo largo del tiempo.

- Y, finalmente, en cuanto al área de aplicación:
  6. Aplicar el sistema predictivo multiescala propuesto para determinar el modelo evolutivo de la sintomatología patológica de los frentes urbanos de la ciudad.

El tercer, y último bloque, pone en práctica toda la metodología desarrollada en esta Tesis Doctoral, ilustrando, para una ciudad en concreto (L'Hospitalet de Llobregat), la evolución de las lesiones en las fachadas.

Para ello, introducida previamente la información procedente de las inspecciones visuales dentro del sistema SIG, se podrá comprobar cómo se hallan distribuidas las lesiones dentro del paramento de las fachadas, qué tipo de lesiones son más recurrentes, dónde se encuentran, en qué estado y en qué valores de riesgo a lo largo del tiempo, en base a todas las variables consideradas.

Conseguir alcanzar estos objetivos marco representará un avance inestimable para conocer el comportamiento que siguen los frentes urbanos y prevenir el deterioro progresivo de los mismos, determinando qué zonas son las más sensibles dentro de la ciudad, aportando conocimiento relevante y posibilitando, a partir de ello, tomas de decisiones claves para la sostenibilidad del sector.

### 1.3. Contenido de la memoria

El contenido argumental de la Tesis Doctoral está compuesta de tres partes; la primera de ellas explora sobre el marco teórico y el laboratorio urbano, la segunda profundiza sobre el diseño y la estructura del sistema predictivo y, la tercera parte desarrolla la aplicación y análisis de un caso de estudio.

La primera parte consta de dos capítulos; el estado del arte (Capítulo 2) y el laboratorio urbano (Capítulo 3), ambos persiguen poder abordar los dos primeros objetivos propuestos en la presente investigación, es decir, por un lado se clasifican las zonas y los elementos arquitectónicos que formalizan las fachadas principales de los edificios y, por otro, se establecen y justifican los factores territoriales que influyen en la durabilidad del frente urbano.

El Capítulo 2 presenta un estudio del estado del arte clasificado por temáticas que resumen el conocimiento científico que se tiene sobre las problemáticas que nos hemos planteado y nos permitirán guiar y motivar la investigación a lo largo de desarrollo de los contenidos de la Tesis Doctoral. La bibliografía consultada se centra en realizar un estudio sobre qué consideraciones urbanas se han de tener en cuenta al hablar de características arquitectónicas y factores de vulnerabilidad, cómo influyen ciertas características morfológicas de la fachada en la durabilidad, sistemas de inspección a gran escala, estudios y análisis de supervivencia y sistemas de gestión integrados.

El Capítulo 3 incluye la estructura semántica y operativa en la que se basa el Laboratorio Urbano; en primer lugar, se describe el frente urbano, definiendo las tipologías de fachadas en función de su forma y especificando las zonas de las mismas que son más sensibles a la degradación, del mismo modo se describe el espacio urbano en función de las proporciones viarias. A continuación



se mencionan los agentes atmosféricos que influyen en el deterioro en los materiales y elementos que conforman las fachadas, clasificando su grado de impacto sobre las mismas en función de las proporciones existentes entre las alturas de las fachadas y las anchuras de los viales. Y, finalmente, se detallan las patologías que serán de estudio en esta investigación, aportándose una clasificación ilustrada según el tipo de fachada y las características de los revestimientos existentes.

La segunda parte se destina al marco de la metodología predictiva, compuesto de tres capítulos; La metodología de inspección multiescala (Capítulo 4), los estimadores de durabilidad (Capítulo 5) y los Sistemas de Información Geográfica (Capítulo 6).

En el Capítulo 4, se desarrolla la metodología óptima para la inspección de los cerramientos de un gran parque edificado existente con el objetivo de analizar la evolución de su degradación. Para ello, se especificarán unos criterios generales y específicos que, previamente deliberados, serán expuestos a una valoración, por parte de técnicos expertos en el ámbito de la inspección de edificios, y se analizará su peso específico. Para ello, se ha empleado un factor de comparación entre las distintas herramientas de inspección que existen en la actualidad próximas a L'Hospitalet de Llobregat (objeto de aplicación de toda la metodología desarrollada en esta Tesis Doctoral), pudiendo determinar una ficha de inspección óptima, generalista y adaptada. Además, se estudia la fiabilidad de los datos, así como la de los inspectores. Este punto es importante, puesto que un estudio a nivel multiescala, como es el caso, requiere de mucho recurso humano el cual, por nivel académico o experiencia profesional, pueden cuantificar y cualificar lo que observan de distinto modo, influyendo en los resultados finales que se extraigan del análisis estadístico.

El Capítulo 5 introduce las técnicas de análisis de supervivencia el concepto de durabilidad en la edificación y cómo aplicarlas en estudios de durabilidad, en particular para el análisis de la evolución del deterioro de los cerramientos exteriores de los edificios. Previamente, se hace mención a términos estadísticos, que permitirán describir los datos que se poseen. A continuación se explica detalladamente la tipología de datos que se requieren para realizar el análisis de durabilidad, fruto de la información recogida del proceso de inspección, y se definen el conjunto de estimadores para estudiar las funciones de supervivencia y de riesgo, atendiendo al elemento, lesión y nivel de gravedad o magnitud. También se describirán las librerías y funciones específicas para nuestro estudio que proporciona el paquete de análisis estadístico R.

El Capítulo 6 presenta los sistemas de información georreferenciada, definiendo las características y funcionalidades de interés para el desarrollo de esta Tesis Doctoral. En particular, se adentra en el software ArcGIS, detallando como se gestionan los datos en este entorno a nivel de introducción, almacenaje y exportación, conceptos importantes para entender como luego estos datos son utilizados en el siguiente software que se presenta, QGIS, que se usará en la parte final de la investigación. En QGIS se ha desarrollado una herramienta diseñada para analizar los datos estadísticamente, partiendo de una selección en base a unos parámetros definidos por el usuario,

y que permitan estimar la evolución de la degradación de las lesiones en un parque edificado en estudio.

El tercer, y último bloque, cerrará el trabajo de investigación de esta Tesis Doctoral, poniendo en práctica todos los conceptos y especificaciones, introducidas en los dos primeros bloques, y obteniendo unas conclusiones sobre la metodología y las herramientas que se han desarrollado.

El Capítulo 7 presenta el municipio elegido con el simple objetivo de ilustrar las funcionalidades de la metodología y las herramientas desarrolladas en esta investigación. El municipio de interés es L'Hospitalet de Llobregat, población que, ha sido inspeccionada entre los años 1998 y 2001, y cuyos datos permitieron describir estadísticamente, en trabajos previos, el estado de las fachadas en ese periodo. Entre los años 2013 y 2015, un porcentaje de estas fachadas han sido reinspeccionadas, recogiendo nueva información, que junto a la que ya se disponía, permite estimar, con mayor precisión, la evolución de la degradación de las fachadas del municipio en estudio. En particular, se determina qué lesión es de mayor afectación en la muestra objeto de estudio y, a su vez, la que sigue un proceso más rápido de degradación en el período de estudio entre inspecciones.

Para la lesión de interés escogida, en el Capítulo 8 se estiman a) las curvas de durabilidad para los distintos grados de magnitud así como las funciones de riesgo acumulado para cada grado y b) el modelo no paramétrico de aparición de la lesión después de identificar las variables significativas que intervienen en el proceso. Validado el modelo, éste nos permite clasificar la población de fachadas en distintas categorías según sus características y durabilidad, e inferir estimaciones de los estadísticos de interés ajustados a cada perfil específico.

El Capítulo 9 cierra esta Tesis Doctoral con las conclusiones y las futuras líneas de investigación que se proponen en cuanto a la metodología desarrollada en el laboratorio urbano, las inspecciones a multiescala, los análisis de supervivencia y las herramientas SIG, en referencia a las contribuciones aportadas y los objetivos planteados en esta investigación. También se especifican los logros alcanzados en el caso de estudio y los resultados concluyentes derivados del aplicativo de consulta dando respuesta a los objetivos de durabilidad de los frentes urbanos.

El cuerpo principal de la presente Tesis Doctoral queda complementada con 7 Anejos.

En el Anejo A se mencionan todos los trabajos académicos pertenecientes al Laboratorio de Edificación y al Instituto de Estadística y Matemática Aplicada a la Edificación de la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona (EPSEB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), que sustentan las más de 21.000 inspecciones realizadas en ciudades Europeas y Americanas.

El Anejo B recoge titulares y artículos de prensa escrita que muestran la preocupación social sobre el deterioro de las fachadas.

En el Anejo C se analizan las características generales de los agentes medioambientales, tales como la radiación solar, la lluvia y el viento, y contaminantes atmosféricos, como puede ser el dióxido de carbono, que han ayudado a sintetizar los aspectos que influyen directamente en la durabilidad de los elementos de las fachadas, desarrollados en el Capítulo 3.

El Anejo D incluye toda la documentación que se ha requerido para llevar a cabo el análisis de los documentos de inspección desarrollada en el Capítulo 4, así como el formulario de evaluación de los criterios generales y específicos de la ficha de inspección, junto a las valoraciones individuales de los colaboradores expertos en inspecciones masivas. También forman parte del Anejo las distintas fichas de inspección existentes, las cuales también se han sometido al criterio de los técnicos, y han podido ser comparadas por distintos métodos multicriterio. Además también se especifica la muestra seleccionada para llevar a cabo el análisis de fiabilidad tanto de los datos como de los inspectores.

El Anejo E contiene los catálogos de los materiales de los que pueden estar contruidos los diferentes elementos que componen cada parte de una fachada. Su organización sigue el mismo esquema que las fichas de campo (Capítulo 4). De esta manera se normaliza la entrada y manejo de la información a tratar en las tablas de la base de datos.

El Anejo F se describe con detalle e ilustraciones las funcionalidades del plugin FAD 0.1 que se ha implementado (Capítulo 6), así como un manual de usuario del mismo.

En el Anejo G se adjuntan las publicaciones derivadas de la investigación realizada, y presentadas en distintas ediciones del congreso *International Conference on Durability of Building Materials and Components* (congreso notable UPC), foro de discusión específico de la comunidad científica en el ámbito de interés de esta Tesis Doctoral.



PARTE I

INTRODUCCIÓN AL MARCO  
TEÓRICO Y AL LABORATORIO

URBANO



## Capítulo 2

### ESTADO DEL ARTE

Para abordar el trabajo de investigación y análisis de la bibliografía bajo una visión metodológica ha sido necesario establecer criterios claros de organización ya que se plantea la revisión de una variada documentación científica que puede representar serios problemas para ordenar y sintetizar las aportaciones de cada autor.

Es evidente que el sector de la edificación está mostrando la necesidad de utilizar sistemas de información cada vez más completos que permitan planificar, controlar y gestionar eficientemente el parque construido con la ayuda de una mayor información, más fiable y continua. Ello se debe en gran parte a que los responsables del control y la gestión del patrimonio arquitectónico son cada vez más conscientes de la necesidad de hacer frente a un entorno en constante mutación, con fuertes exigencias sociales, políticas y tecnológicas.

Como se argumentará a lo largo de la investigación, los sistemas de decisión por excelencia son los predictivos, en principio, muy arraigados en otros ámbitos del conocimiento como en obra civil, la medicina o la industria, y que lentamente se van introduciendo en el de la edificación.

Para responder a una gestión con una visión multiescalar del frente urbano se hace necesario crear propuestas que sean lo más objetivas y cuantificables posibles, para que su aplicación y resultado pueda tomarse como extrapolable al conjunto de análisis a realizar en otro tipo de asentamiento urbano.

Así pues se ha indagado dentro del sector si existen autores con publicación científica que se hayan preocupado por cuestiones similares a las que se están planteando en esta investigación,

focalizadas sobre sistemas predictivos multiescala de la degradación del frente urbano de las ciudades.

En los apartados siguientes se hace una clasificación de los criterios que se han seguido de forma argumental para la revisión bibliográfica y cómo estos se han clasificado por materias de conocimiento.

## 2.1. Consideraciones urbanas

Este apartado busca la existencia de referentes físicos y naturales que interactúan en una ciudad, cuáles de ellos inciden de forma directa en el contexto del espacio urbano y en concreto sobre los frentes edificados, para establecer qué factores se han de considerar para su durabilidad.

La ciudad no puede ser considerada tan sólo como una serie de edificios agrupados y dispuestos en torno a una manzana, configura más una trama de eventos que se entrelazan con un cierto sentido. Así los habituales tejidos urbanos pasan a ser el resultado de un conjunto de historias, relaciones, informaciones, sonidos y luces que están en continuo movimiento. En este sentido [Trovato \(2007\)](#) señala que las vías públicas y los edificios representan los caracteres de un texto y que éstos pueden ser leídos con exactitud por los que han seguido su evolución histórica. Esta visión holística encaja en cierta forma con la que defiende [Munizaga \(1997\)](#) cuando determina que la forma de la ciudad no es fija ni estable, sino que es el resultado de un proceso dinámico y que el análisis de la misma se puede realizar desde varios puntos de vista, es decir, se puede estudiar por su forma, densidad, tamaño y usos.

La forma urbana también puede representar la expresión más global de un determinado período histórico, de una geografía específica, de unas costumbres concretas y de las interrelaciones entre los espacios públicos y privados. Los componentes que definen la forma y el espacio urbano son de dos tipos: los urbanos y los arquitectónicos, siendo los primeros la trama, la manzana, las plazas, los parques, las calles y los cruces; y los últimos las zonas edificadas. En la Figura 2.1 se muestra un reflejo embrionario de forma y espacio urbano.

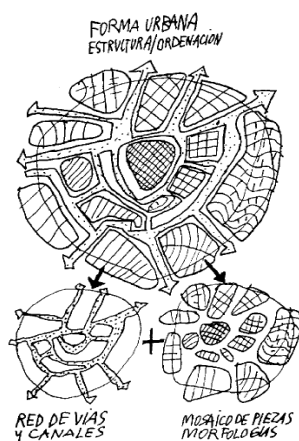


Figura 2.1 La forma urbana fractal de la estructura de la ciudad ([Zarza, 1996](#))



Es pues la trama urbana el elemento que organiza, articula formas y en consecuencia, genera el plano de la ciudad, siendo la combinación de los espacios generados por esta trama quienes van tomando y generando diferentes configuraciones. La manzana es un producto del tejido urbano de la ciudad delimitado por calles en sus cuatro costados y que determina la división del suelo, generando así una estructuración del suelo compuesta por espacios públicos y privados.

Los elementos de encuentro lineal entre distintos espacios públicos y privados serán las calles, también consideradas como elemento de distribución de servicios generales. El encuentro entre dos o más calles forman los cruces. [Briceño y Gil \(2005\)](#) definen al cruce como un elemento de la morfología urbana con una disposición y organización que generan secuencias espaciales, pautas de recorrido y que pueden contribuir a la identificación de ámbitos urbanos definidos.

Destacar que el concepto ciudad y sus estructuras actuales tienen ya más de cuatro mil años, y sus formas resultantes surgen de múltiples combinaciones de elementos básicos, formalmente muy simples en el origen, que por iteración variable, acaban convirtiéndose en complicadas y complejas. En su evolución, las ciudades han sido el reflejo y una fuente de expresión de las necesidades, los ideales y las aspiraciones del hombre. Al mismo tiempo son perceptibles distintos períodos históricos en que las características de asentamiento y explotación de un territorio, la organización social y el desarrollo tecnológico han mostrado nuevas condiciones del cambio y/o ruptura de las condiciones anteriores ([Munizaga, 1997](#)).

Así pues, según la forma del trazado viario se pueden distinguir cuatro planos básicos de la ciudad: plano ortogonal, plano lineal, el plano radiocéntrico y el plano irregular. Sin embargo, existen otras tipologías de planos un tanto complejas, como por ejemplo: el multidireccional, polinuclear, anillo, desfragmentado, etc. que pueden integrarse en los conceptos de los planos anteriormente nombrados.

Los distintos planos básicos pueden describirse de forma muy sintética en:

- **Plano ortogonal** también conocido como hipodámico en referencia al arquitecto griego Hipódamo de Mileto por ser el creador de un planeamiento urbano en el que las calles de la ciudad se trazaban a partir de una cuadrícula. También es conocido como plano en cuadrícula o equirectangular dado el orden, la simplicidad y la simetría de sus formas. Este tipo de plano se caracteriza por el predominio de trazados en línea recta que se cortan perpendicularmente generando largas calles en forma de cuadrícula.

Algunas de las ciudades de la antigua Grecia y Roma fueron las primeras en organizarse mediante este tipo de planeamiento. Sin embargo, el diseño ortogonal se utilizó en la fundación de las nuevas ciudades en la España medieval. Posteriormente, el formato de cuadrícula de las calles fue empleado en los ensanches urbanos que organizaron el crecimiento de las ciudades en el siglo XIX. En la Figura 2.2 se pueden observar algunos ejemplos de distribución ortogonal en las ciudades de Barcelona y Madrid.



Figura 2.2 Distribuciones ortogonales (izq.: Barcelona, der.: Madrid)

- **Plano lineal** basado en la idea de trazado lineal surgido del ingeniero y urbanista Arturo Soria basada en la unión de dos núcleos urbanos a partir de una línea recta. En este modelo de organización se propone el diseño de manzanas cuadradas o rectangulares de las mismas dimensiones, ubicadas a ambos lados de una avenida central junto a un corredor de infraestructuras central y espacios verdes o campos de cultivos. También, en el plano lineal se encuentran amplias calles de varios carriles por sentido y la resolución de las interacciones con glorietas. En la Figura 2.3 se presentan, en una vista aérea, zonas de las ciudades de Madrid y Brasilia con estos modelos de distribución viaria.



Figura 2.3 Distribuciones lineales (izq.: Madrid, der.: Brasilia)

- **Plano radiocéntrico** es aquel plano que está organizado en torno de un punto central de la ciudad a partir del cual se distribuyen las calles o avenidas principales en forma de círculos, facilitando la comunicación entre los puntos periféricos y el centro de la ciudad.

Un claro ejemplo de este tipo de plano es el barrio de la estrella de París y las ciudades de origen medieval, donde las calles nacen en torno a un edificio importante como un

castillo, monasterio o iglesia, y los edificios se disponen alrededor del mismo rodeados de una muralla circular por toda la ciudad. A modo de ejemplo en la Figura 2.4 se pueden observar barrios de las ciudades de Bilbao y París que muestran este tipo de organización.



Figura 2.4 Distribuciones radiocéntricas (izq.: Bilbao, der.: París)

- **Plano irregular** presenta en sí mismo una falta de planificación de las calles y manzanas, como resultado del crecimiento progresivo y natural de la ciudad sin control. Por ello, pueden tener formas variadas y sin definir, con varios puntos centrales en una misma zona. Las ciudades medievales e islámicas son un claro ejemplo de este tipo de planeamiento. En la Figura 2.5 se presentan algunos ejemplos de distribución desigual, en este caso, en las ciudades de Barcelona y Madrid.



Figura 2.5 Distribuciones irregulares (izq.: Barcelona, der.: Madrid)

Otros autores también son coincidentes en que la ciudad ofrece parámetros de clasificación a partir de la morfología urbana, tales como su trama, la manzana, la calle, el cruce, los espacios abiertos y los elementos arquitectónicos que cohesionan la imagen que tenemos de la misma. En este sentido, [Briceño y Gil \(2005\)](#) introducen además que los elementos que configuran la imagen de las ciudades están expuestos al deterioro y pueden crear una imagen negativa en la percepción del orden. Apuntan que uno de los objetivos fundamentales de toda intervención,

consiste en garantizar la cohesión de la imagen urbana, considerando la permanencia y persistencia del pasado como un valor histórico, estético y social.

El espacio físico de la ciudad es una relación inseparable entre la arquitectura y ésta, generándose un vínculo entre las partes y el todo. Este planteamiento es de vital importancia ya que impone que las ciudades se han de observar como un todo unificado compuesto por partes.

Para definir la agrupación de las entidades nos podemos apoyar en la ley de buenas formas o Ley de Pragnanz planteada por Kofka (Briceño, 1999). Los puntos clave se establecen en base a criterios de:

- *Igualdad o similitud*
- *Proximidad*
- *Regularidad*
- *Simplicidad*
- *Simetría*
- *Cierre*

En general y como conclusión más aceptada la forma urbana es el resultado de la organización física de los elementos, su distribución y disposición en el espacio, definiendo una combinación entre lo que se ha dado por llamar “el lleno” y “el vacío” con diferentes configuraciones. La manzana es considerada la unidad básica de la trama urbana y define una división del suelo, mientras que los espacios abiertos pueden ser delimitados por elementos naturales o construidos. La calle se define como un elemento lineal de transición entre el espacio privado y público, y define la trama urbana. Así pues el elemento arquitectónico será el que va a generar la envolvente que define el espacio urbano y el que va a requerir ser mantenido, conservado o mejorado, con independencia de su carácter público o privado.

Esta investigación se asocia a este pensamiento ya que considera el frente urbano como el elemento arquitectónico que forma la línea divisoria entre el suelo de uso privativo y público. En el fondo representa cara al ciudadano la imagen perceptiva de su entorno. Cabe destacar que la fachada a lo largo del tiempo es un elemento comunicativo entre la arquitectura y el usuario de dicho espacio. De ahí la importancia de promover su conservación y mantenimiento.

### **La morfología urbana con carácter delimitado por las fachadas**

La fachada es un subsistema constructivo que forma parte del sistema general de una edificación y como tal juega un papel determinante dentro de las prestaciones funcionales y estéticas a las que se va a destinar. Así pues, observando las fachadas a escala urbana y en la interrelación entre ellas, vemos cómo constituyen un ente definido dentro del espacio urbano de la ciudad.

Existe una corriente científica que vincula intrínsecamente la escala edificatoria con la escala urbana y se fundamenta en la filosofía de la morfología urbana, que comenzó a tomar forma a finales del siglo XIX como un campo de estudio en relación con el paisaje urbano. Sus orígenes fueron en gran parte desarrollados dentro de la geografía de Europa central. Nos interesa señalar los planteamientos de Conzen, quien estaba muy influido por los pioneros en este campo, tales como Otto Schlüter. Conzen planteaba que la estructura urbana debe ser entendida como una interacción histórico-geográfica y, a su vez, como un mosaico de formas relacionadas entre sí ([Whitehand, 2007](#)).

La ciudad se ha de ver como un activo a largo plazo, cuya importancia se extiende mucho más allá de su valor funcional contemporáneo. El paisaje urbano también puede ser visto como una valiosa fuente de experiencia, tanto más cuando constituye un medio predominante de una gran repercusión social. El hecho de que el paisaje urbano sea un referente para la ciudadanía, le da a la fachada una ventaja sobre otros elementos urbanos. Según Jeremy en su análisis de la doctrina Conzeniana ([Whitehand, 2007](#)), expresa la importancia de la prioridad morfo-genética de la forma de los diferentes elementos que contribuyen a formar las ciudades, insistiendo en la importancia de mantener la vida útil de los elementos que componen la estructura del paisaje y que a la postre son el marco histórico identificativo de un entorno urbano. De ahí que la participación de las fachadas en un estudio a macroescala del ámbito urbano sea determinante para la apreciación de un elemento singular del paisaje, puesto que obedece a determinadas tendencias que definen una evolución arquitectónica claramente estructurada.

Es evidente que de la trilogía conceptual paisaje, ciudad y fachadas, se genera una unión entre ciudad y usuario ([Herzog et al., 2004](#)), ya que se establece la idea que las masas edificadas por el hombre generan una piel que define una problemática científica entre el interior y el exterior de los edificios. Esta visión apoya también la tesis de situar la fachada como un elemento que forma parte del frente urbano y justifica su estudio desde este punto de vista. La fachada entendida como el límite de lo interior y exterior, diseñada para proteger y ofrecer un mensaje sobre el significado del edificio, es pues un factor determinante que revela la naturaleza del mismo con relación a su entorno.

Así el ámbito central de la ciudad, la calle, está rodeada por una sucesión de elementos que ofrecen el carácter y la identidad de la misma, facilitando la comunicación, estableciendo parámetros medioambientales y permitiendo la observación con una lectura global. La calle está determinada por los elementos límites que constituyen pared o fachadas y que éstos a su vez se relacionan entre sí en patrones coherentes dentro de un entorno específico de construcción urbana o suburbana ([Kropf, 1996](#)). De ahí que la fachada disponga de un doble carácter y una codependencia entre lo interno y lo externo que ofrece los mismos derechos al aspecto público como al privado. En la Figura 2.6, se muestran de forma esquemática una visión planimetría del espacio urbano y sus correspondientes frentes urbanos.

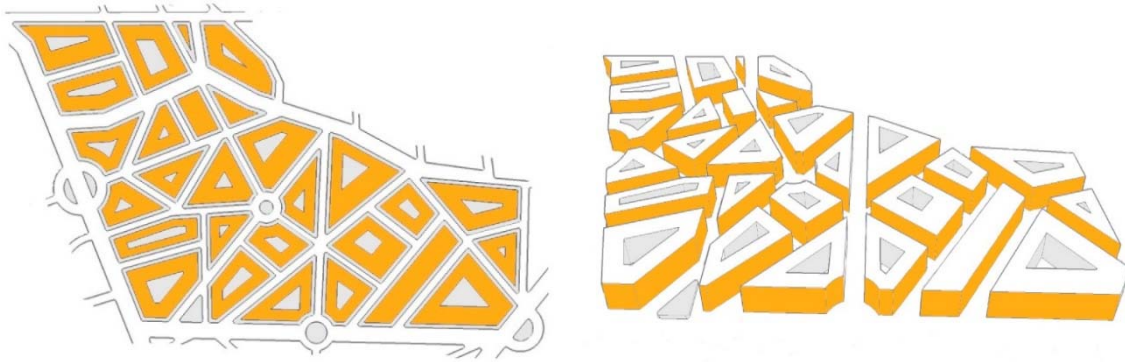


Figura 2.6 La visualización entre espacio y frente urbano

### 2.1.1. Características arquitectónicas del frente urbano

Sin duda el conjunto de las fachadas de los edificios representan el frente urbano de las ciudades y que hace entre otras las funciones de protección ante los agentes ambientales y de contaminación garantizando los parámetros de confort preestablecidos en su fase de diseño. Sin el ánimo de desvincular de forma absoluta el elemento fachada del edificio, ésta también podría ser observada como una particularidad de la envolvente de la carcasa estructural tal como señala (Trovato, 2007) cuando la define con características de autonomía aun formando parte de la piel activa del edificio y sensible a múltiples interacciones.

Existen autores (Pérez, 2006; Baker, 2000) que también defienden la envolvente del edificio como una entidad propia que está dotada de personalidad a través de sus proporciones, colores, materiales y aberturas. Al igual que el modelo clásico, de diferenciar las fachadas, existe una distinción categórica entre los paramentos de la envolvente en base a su situación y relación con el resto de edificios colindantes. En la Figura 2.7 se puede observar un esquema en el que una fachada ha de quedar integrada en el conjunto de las que forman la manzana y en la Figura 2.8 se señalan cada una de las posiciones que ocupan las distintas fachadas de un hipotético edificio en relación a su situación respecto al vial y las edificaciones colindantes.

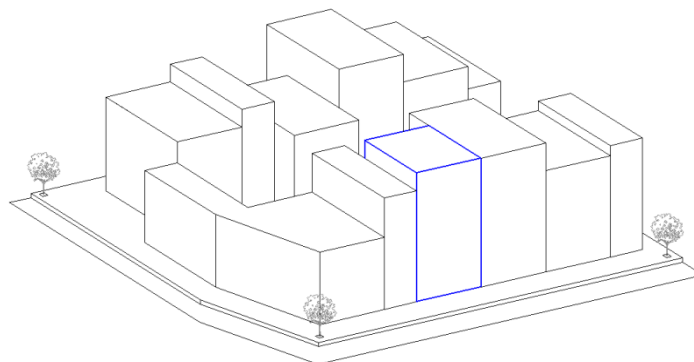
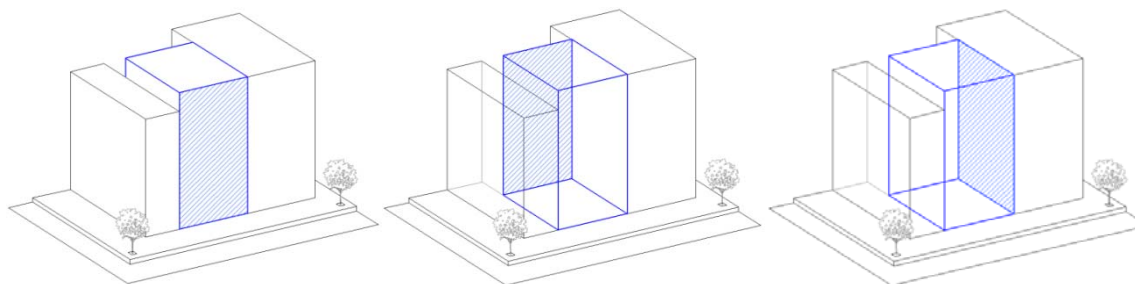


Figura 2.7 Vista general de una manzana



*Figura 2.8 Situación de fachada principal, posterior y medianera, respecto a vial*

Pese a ciertas similitudes existentes entre las fachadas dentro de la envolvente del edificio, esta Tesis Doctoral se ha centrado exclusivamente en la parte de la envolvente principal, por ser la más representativa dentro del espacio urbano que se estudia y por estar sometida a un mayor impacto frente a la degradación por exposición directa de los agentes climáticos y de contaminación.

La fachada a lo largo de la historia evolutiva de la arquitectura ha sido el elemento por excelencia de expresión de variadas tendencias artísticas y arquitectónicas, siendo los siglos XV y XVI, donde se rompe con el estilo predominante Gótico, dando paso al Renacimiento con aplicación de elementos simbólicos, proporciones modulares y superposición de órdenes clásicos para expresar monumentalidad.

Con la llegada del Barroco en el siglo XVII hasta la primera mitad del siglo XVIII se conjugaron la gran cantidad de recursos y mano de obra para mostrar en los acabados ornamentales de las fachadas un fuerte componente de materiales lujosos, colores llamativos y en formas curvas, elípticas y espirales, sin que se perdiesen las representaciones de esculturas y/o pinturas. A éste le siguió el Neoclásico que abandona toda superficialidad que no tenga que ver con aquellos elementos que no sean estrictamente necesarios para la edificación, apostando por las simetrías y la proporcionalidad de los clásicos.

La arquitectura en la edad Contemporánea y con la llegada del modernismo las fachadas adquieren un fuerte compromiso ornamental inspirado en la naturaleza, dejando de lado las simetrías y recreándose en las curvas buscando un fuerte componente estético. De la misma raíz nace el Novecentismo que se preocupa de dar un carácter social a la arquitectura clásica.

No es hasta el final de la primera Guerra Mundial cuando aparece el Racionalismo que combina el uso de nuevos materiales como el acero, hormigón y vidrio para dar un concepto de ligereza al edificio, siendo Le Corbusier uno de los principales exponentes de este nuevo enfoque arquitectónico.

En todos los tiempos, incluidos los de la actual arquitectura moderna, la fachada ha sido y seguirá siendo un elemento de máxima representatividad, signo de poder económico y de discusión por su profundo arraigo en la sociedad. En la Figura 2.9 se presenta un breve esquema gráfico que quiere mostrar la evolución de los signos más característicos que definen los estilos

arquitectónicos, que nos han ido precediendo hasta nuestros días y muestra la importancia que representa la fachada como una entidad digna de consideración.

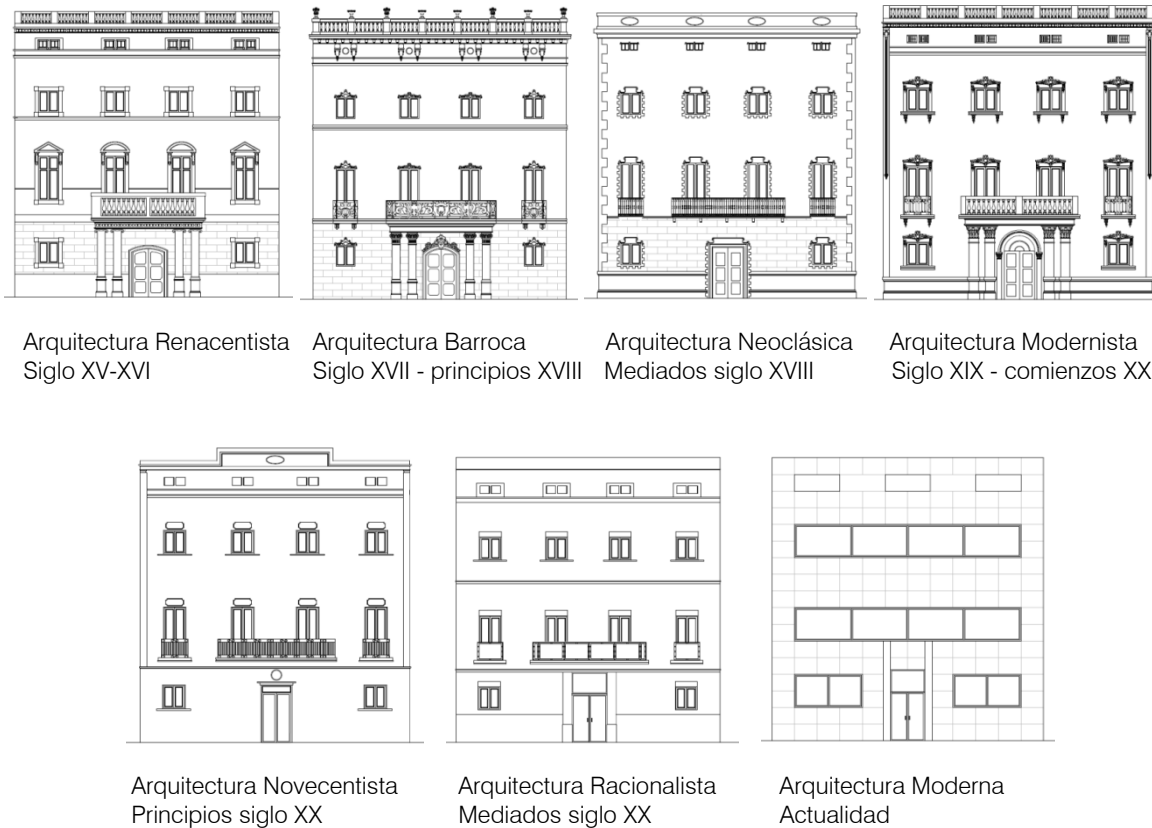


Figura 2.9 Evolución de la fachada del siglo XV al XXI

Tras las múltiples variables compositivas que se pueden expresar en el paramento fachada no tan solo desde el punto de vista de estilo arquitectónico, también desde la tecnología constructiva empleada, surge la problemática de tener que afrontar esta casuística bajo un enfoque más generalista, que permita dirigir todos los esfuerzos hacia unos parámetros capaces de determinar la trayectoria que define la pérdida de su durabilidad una vez forman parte del frente urbano.

A continuación se muestra cuáles han sido las consideraciones planteadas para ordenar el elemento fachada con el fin de obtener aquellos datos que nos conduzcan a poder evaluar estos estados de degradación y en función del riesgo asociado.

### 2.1.2. Factores territoriales de vulnerabilidad del frente urbano

En esta sección se describe qué elementos o factores externos serán más influyentes en su impacto a lo largo del tiempo. Para entender los procesos de degradación, es necesario relacionar las fachadas de los edificios con el medio ambiente y su contexto urbano (Caterina *et. al.*, 2001).



Bajo la hipótesis que el entorno tiene un papel muy relevante en el tipo y grado de deterioro que se va a producir en los edificios el estudio realizado por (Herrera, 2004) concluye que la humedad relativa, la alta temperatura y la contaminación, potencian el desencadenante de un riesgo de deterioro en edificios históricos. A partir de los datos experimentales extraídos del estudio de concentración de contaminantes atmosféricos, se deduce que los ambientes marinos e industriales, así como los ambientes sometidos a altas temperaturas, son los que muestran un mayor grado de vulnerabilidad con meteorización predominante.

A pesar de que la experiencia empírica evidencie que la degradación de las fachadas es un resultado de la acción de diferentes factores, un efecto combinado de éstos va a resultar mucho más agresivo, peligroso y progresivo frente al deterioro (Gaspar y de Brito, 2008a). De manera análoga influirá también el grado de deterioro según el nivel de exposición y la intensidad de las acciones ambientales sobre la fachada (Silvestre y de Brito, 2009). Dentro de los factores medioambientales, el agua es el elemento más influyente en el proceso de degradación de los edificios (Beasley, 2012), siendo el elemento catalizador entre los distintos factores de deterioro que inciden sobre las fachadas (Gaspar y de Brito, 2008a).

El trabajo sobre la erosión de las superficies de los edificios de piedra caliza causados por la lluvia impulsada por viento de Tang *et al.* (2004), busca utilizar datos de campo que evidencien de qué forma se ven afectadas distintas partes de un edificio por efecto de las condiciones meteorológicas a las que está sometido. Las mediciones para su posterior análisis se realizaron en 16 edificios durante un periodo de 21 meses, registrando 94 eventos de lluvia con referencias de su intensidad, la dirección y velocidad del viento y el lugar donde se realiza la medición. El estudio demostró que la variación en el impulso de las gotas de agua, procedente de la lluvia, sobre una superficie es parcialmente responsable de su erosión futura.

Otro estudio realizado por Lourenço *et al.* (2006) tenía como objetivo principal abordar la caracterización de la composición urbana de un centro histórico en Portugal y los principales defectos asociados a la humedad en la envolvente de los edificios. La metodología seguida se centraba en la obtención de la información siguiente: (a) definir la tipología de construcción, (b) los materiales empleados, (c) la inspección y detección de daños en la envolvente del edificio y (d) el estudio de las condiciones higrotérmicas existentes. El estudio se dividió en distintos niveles de aproximación a la problemática basados en inspecciones visuales, revisión de las condiciones higrotérmicas y la toma de datos de medidas de temperatura y humedad relativa. Se pudo observar, tras los trabajos previos, la existencia de lesiones significativamente importantes en toda la muestra con ciertas mejoras en los elementos estructurales. Una de las conclusiones fue que la presencia de los diferentes tipos de daño se produce simultáneamente como resultado de falta de mantenimiento. El resultado muestral arrojó una afectación de alrededor del 40% de los casos estudiados. Los autores concluyen que la mayoría de las manifestaciones patológicas existentes son causadas por infiltraciones de agua en el tejado o la fachada y por el fenómeno de la condensación.

[Andrady et al. \(1998\)](#) estudiaron los efectos del incremento de la radiación solar sobre los materiales polímeros, identificando que el contenido de radiación ultravioleta de la luz del sol afecta adversamente las propiedades mecánicas de estos materiales, limitando su vida útil; existiendo un efecto sinérgico de la radiación con el aumento de otros factores tales como la temperatura que podría determinar el alcance de dicha reducción. También expusieron que un pequeño aumento de rayos solares UV-B puede acelerar drásticamente los niveles de los procesos de deterioro en lugares donde la temperatura ambiente es alta. Finalmente citaron que la fluctuación de temperatura y radiación solar provoca mecanismos de fatiga de los materiales expuestos a éstas.

Por otro lado [Lourenço et al. \(2006\)](#) constatan en su estudio sobre la humedad en los edificios que el aporte solar determinaba el secado efectivo o no del elemento, generando caras con desarrollo microbiológicos y caras secas erosionadas por la lluvia. La formación de los micro y macro organismos conducen a daños estéticos y alteraciones de los materiales que derivan en su degradación ([Silvestre y de Brito, 2009](#)). En estudios de [Saiz-Jimenez \(1997\)](#) sobre la biodegradación y el papel de los microorganismos se defiende que la actividad biológica también juega un importante papel, y su interacción con los mecanismos físico-químicos se considera fundamental para la comprensión de un deterioro a largo plazo.

El fenómeno de la proliferación de las actividades industriales, modificando la composición de la atmósfera, da lugar a entornos más agresivos. Los materiales de construcción actúan como superficies selectivas que atrapan pasivamente partículas y compuestos presentes en el aire y el agua que actúan en cadena con el material degradándolo. [Saiz-Jimenez \(1997\)](#) destaca que la presencia de organismos fototróficos es más evidente en fachadas con tendencias a mayor tiempo de secado.

Los contaminantes atmosféricos presentes en el ambiente, entre los más nocivos los gases contaminantes como el dióxido de carbono y el azufre, así como las sales, pueden en combinación con el viento o el agua crear efectos desencadenantes en la composición físico-química de los materiales que componen los cerramientos de los edificios. [Gaspar y de Brito \(2008a\)](#), en su estudio sobre la cuantificación de los efectos del medioambiente sobre las fachadas acabadas con revocos de morteros, describen el proceso combinado de estos contaminantes y como degenera en lesiones importantes para las fachadas.

Otros autores han señalado, sin entrar en grandes descripciones, que el contexto urbano también repercute en el estado de degradación del paisaje formado por un conjunto de fachadas. Más específicamente, se trata de estudiar la relación entre la fachada y el sistema viario ([Caterina et al., 2001](#)), las vibraciones del tráfico ([Lourenço et al., 2006](#)); así la presencia de pátinas negras en las fachadas puede estar asociada al estancamiento del aire por un alto valor en la relación alto-ancho de la calle, o bien al mismo tráfico ([Cantone et al., 2004](#)).

Autores como [Monjo Carrió et al. \(2001; 2007\)](#) identifican una relación de factores que afectan a la durabilidad de las fachadas, tales como:

- **Sobrecargas de agua o nieve** debidas a la acumulación puntual y que suponen cargas no habituales.
- **Velocidad de viento** tanto en presión como en succión, más importante cuanto mayor sea el nivel de exposición del edificio; afecta tanto a la estructura principal del edificio como a cualquiera de sus elementos de cerramiento y acabados exteriores.
- **Lluvia** que puede provocar fenómenos de capilaridad, filtración y entumecimiento, en general, con posibles pérdidas de características mecánicas y variaciones dimensionales y filtraciones.
- **Temperatura**, o los cambios de la misma a lo largo de ciclos anuales o diarios, que provoca variaciones dimensionales que pueden alterar las características mecánicas de los elementos constructivos, reduciendo su durabilidad.
- **Exposición solar**, o sobre exposición con calentamientos locales, que provocan la rigidización de resinas sintéticas, la alteración de las maderas, etc. A su vez, la falta de exposición provoca humedales nocivos.
- **Organismos** pertenecientes al entorno en el que se sitúa el edificio, y que pueden afectar a sus elementos y unidades, bien por simple asentamiento en los mismos, o por ataque directo.
- **Contaminación del aire y del agua** producida normalmente por automóviles, calefacciones, fábricas, humo, etc., que puede provocar alteraciones en los materiales, especialmente los pétreos.
- **Humedad** relativa del ambiente o producida por el uso del edificio, que puede provocar la corrosión de los elementos metálicos o eflorescencias en elementos de cerramiento. También, en combinación con las fluctuaciones de temperatura, provoca contracciones y dilataciones.
- **Volumen de tráfico** que genera contaminación, polvos que se acumulan en los elementos del cerramiento, así como vibraciones que son transmitidas a todo el frente.
- **Relación alto-ancho** que cuando es alta crea entorpecimientos en la circulación del aire.

En consecuencia, y de acuerdo con los distintos autores mencionados, entendemos que se evidencia que los fenómenos medioambientales, tanto en estado puro como combinados, son agentes que intervienen en la durabilidad. El estudio de esta tesis quiere incorporarlos como un evento capaz de proporcionar variables sustanciales al estudio de supervivencia realizado sobre las fachadas.

### 2.1.3. El cañón urbano

El aumento de la urbanización ha generado un incremento de las temperaturas urbanas, sobre todo en aquellas zonas con alta densidad edificatoria, donde además, la humedad superficial y la radiación inciden constantemente en las fachadas de las edificaciones. La interacción de estos fenómenos da origen al ecosistema urbano que puede alterar significativamente las características meteorológicas del entorno y en mayor medida en los centros urbanos. Carrasco (2010) alude que esta zona de la atmósfera comprendida entre los edificios, está sujeta a condiciones climáticas significativamente diferentes al estado del clima pre-urbano. Y es que dentro de ella existe el denominado cañón urbano o *street canyon*, entendiéndose como tal el volumen de aire que se genera entre dos edificios adyacentes, incluyendo al suelo, que normalmente es la calle (Moreno, 1997).

Físicamente el cañón urbano corresponde al espacio público y social de la ciudad, formado por una gran variedad de elementos urbanos tales como: zonas verdes, espacios abiertos, tramos de tránsito moderado o bajo y grandes formas volumétricas edificadas que cambian según su configuración arquitectónica. En la Figura 2.10 se aprecia un corte esquemático del cañón urbano característico indicando el volumen de aire contenido en su interior.

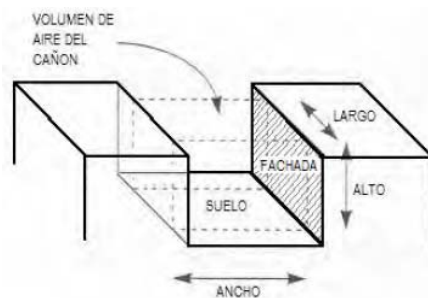


Figura 2.10 Cañón urbano (Carrasco, 2010)

Dentro del cañón urbano se suele producir el fenómeno conocido como *Isla de Calor*, que se debe principalmente a algunos factores, como son:

- **La geometría del cañón**, que favorece la disminución de la radiación solar desde su interior hacia el espacio superior.
- **La masa térmica de los edificios**, que aumenta el almacenamiento de calor dentro de su estructura.
- **La formación del efecto invernadero**, que incita el incremento de la entrada de calor desde la atmósfera sobrecalentada y contaminada.

Oke (1982) señala que la isla de calor es directamente proporcional a la población e inversamente proporcional a la velocidad del viento urbano: A medida que aumenta la velocidad del viento, disminuye la intensidad de la isla de calor. Summers (1964) establece que la diferencia de

temperatura en la isla de calor es directamente proporcional a la altura a la que se encuentra el viento que renueva el aire en la ciudad e inversamente proporcional a la densidad del aire, el calor específico y la velocidad del viento; y que la temperatura potencial disminuye con la altura; es decir, la altura del viento que renueva el aire en la ciudad depende de la geometría y rugosidad de ella.

Evidentemente existen ciertas connotaciones entre los fenómenos que se generan en el interior del cañón urbano y la preocupación frente a la durabilidad de los frentes arquitectónicos que nos preocupan. Las características y eventos a los que va a estar sometido cada frente urbano de la ciudad no escapan a los agentes medioambientales, que se relacionan dentro de la teoría del cañón urbano, como factores de vulnerabilidad de las fachadas que los componen.

## 2.2. Características de las fachadas frente la durabilidad

El interés de este apartado se centra en estudiar la clasificación de fachadas más allá de su composición arquitectónica, centrándose en el diseño y tecnologías constructivas empleadas.

A nuestro entender, en base a los objetivos que se pretenden, sería deseable conseguir una caracterización de las fachadas en función del uso al que están destinadas y a los elementos constructivos que la representan.

La clasificación del cerramiento vertical de un edificio es tan ambigua como la cantidad de requerimientos para las cuales se diseña y la diversidad de materiales que se utilizan. De aquí que nos planteamos enfocar una línea de revisión según los patrones más definidos y que influyen en la composición y el estilo, a raíz de la solución constructiva adoptada. Autores como [Monjo Carrió et al. \(2001\)](#) y [Beasley \(2012\)](#) coinciden en este planteamiento, desarrollando las siguientes tipologías:

- **Fachada portante** en una descripción sencilla quedaría definida en aquel cerramiento que tiene una misión estructural como muro de carga de la estructura horizontal que en él apoya, además de la carga que le transmiten los muros superiores. Suelen resolverse mediante muros de fábrica de diversos tipos ejecutados in situ o prefabricados.
- **Fachada no portante** es aquella que configura el cerramiento y se apoya sobre la estructura base del edificio, o en ocasiones se coloca de forma aislada con una estructura propia. Su misión ya no se considera portante, se resuelve mediante hojas ligeras que cumplan las prestaciones requeridas para la fachada, normalmente están formadas por varias hojas con una capa de aislante.

Varias fuentes consultadas ([Monjo Carrió et al., 2001](#); [Cantone et al., 2004](#); [Herzog et al., 2004](#); [Beasley, 2012](#)) son coincidentes en señalar que la fachada es sometida a un conjunto de fuerzas propias, externas y acciones medioambientales que constituyen la base para la vulnerabilidad de estos elementos. Por otro lado, [Monjo Garrió \(2007\)](#) y [Rodrigues et al. \(2011\)](#) precisan que además

la calidad de construcción y los tipos de materiales empleados, así como el mantenimiento que reciban, influirán significativamente en el inevitable proceso de degradación de la fachada a lo largo del tiempo.

En este sentido (Herzog *et al.*, 2004) expone que además el cerramiento adopta formas verticales, horizontales e inclinadas, y se constituyen de superposición de elementos enlazados o unidos mediante fijaciones, ambos adoptan geometrías variadas y encuentros entre materiales cuya complejidad da lugar al desarrollo de puntos débiles en el cerramiento, creando opciones de humedales y acumulaciones de agentes que derivan en fallos en los elementos.

La degradación de los componentes de una fachada es una consecuencia normal del proceso de envejecimiento (Rodrigues *et al.*, 2011). Sin embargo la bibliografía consultada no describe un sistema de componentes claro e interrelacionado. Algunos autores ven la necesidad de caracterizar la fachada, descomponiéndola en elementos para asociarlos a su vulnerabilidad. Un análisis comparativo entre publicaciones (Paricio *et al.*, 1999; Monjo Carrió *et al.*, 2001) y compendios gráficos de arquitectura (Adroer i Puig y Domingo i Grabiell, 2004; Broto, 2005; Davies y Jokiniemi, 2008) permite justificar los párrafos siguientes sobre caracterización de las zonas y elementos que forman una fachada basada en la morfología del paramento.

Desde el punto de vista morfológico una fachada puede estar formada por distintos planos en los que situar sus elementos arquitectónicos. En primer lugar existe el plano de alineación de vial, en el que se ubica el paramento principal; seguidamente se situará el plano fuera de alineación de vial, que contiene los cuerpos volumétricos, formados por terrazas, balcones y tribunas, que a su vez disponen del paramento secundario.

El elemento principal de la caracterización es el paramento. Éste constituye la parte ciega o maciza de la fachada, siendo apta para recibir las acciones atmosféricas con aislamiento acústico y térmico adecuado. Se le denomina también textura principal de la fachada. Normalmente está constituido por obras de fábrica vista (piedra, ladrillo, bloque de mortero, hormigón armado, etc.), que a su vez pueden disponer de un revestimiento continuo (estucado, esgrafiado, revocos, monocapas, etc.) o un revestimiento discontinuo (alicatados, chapados adheridos y/o sujetados, etc.). Como la fachada está expuesta a diferentes tipos de uso y a distintas afectaciones medioambientales, se considera conveniente subdividirlo en:

- **Arranque-zócalo o base** es parte del paramento en contacto con el nivel del terreno, que puede alcanzar toda la altura de la planta baja y recibe las agresiones más directas de los usuarios y el medio ambiente (acción de la humedad, acciones de los peatones, animales, vandalismo, etc.); en donde se encuentran los puntos de acceso al edificio.
- **La zona intermedia** es la zona donde se van combinando las aberturas y la parte maciza del propio paramento. Es la superficie con mayor amplitud en la que se localizan la mayor parte de las funciones del edificio y casi la totalidad de elementos.

- **El coronamiento del edificio** es el remate superior de la fachada en donde se apoya la cubierta o se encuentra una terraza. Define la silueta del edificio en altura.
- **Elementos salientes** entre los que figuran balcones, tribunas, terrazas, etc. Cumplen con una gran importancia formal en la composición de la fachada y necesitan protección de las acciones exteriores del medio.
- **Elementos añadidos** son los que se integran en la fachada con función ornamental o de confort (por ejemplo, lamas o toldos para ofrecer una mayor protección solar) y decorativos como jardineras.

Para una mayor comprensión de los elementos descritos, Santos *et al.* (2011) zonifican las partes de una fachada tal como se muestra en la Figura 2.11.



Figura 2.11 Identificación de las zonas en las que se subdivide el paramento (Santos *et al.*, 2011)

A partir de la zonificación en base a los distintos usos del paramento de la fachada, entendiéndola como un elemento alineado al vial, pueden aparecer discontinuidades que formalicen cuerpos salientes, como tribunas y balcones, junto con elementos ornamentales. En la Figura 2.12 quedan grafiados alguna de estas situaciones. Destacar sobre dicha figura, las discontinuidades que se generan en el cuerpo de fachada, tales como la interrupción por efecto del forjado de las distintas plantas o la incorporación de huecos en el propio plano, situación ésta que puede debilitar la durabilidad de los cerramientos de las fachadas por falta de continuidad.



Figura 2.12 Fragmentación del paramento y elementos singulares (Santos *et al.*, 2011)

Otros autores (Caterina *et al.*, 2001) han descrito que la fachada se puede componer o caracterizar a raíz de las funcionalidades, en bandas con requisitos de rendimiento diferentes. Estos planteamientos quedan referenciados en un estudio realizado por Mendes da Silva *et al.* (2010) en que segmentan el elemento fachada de la siguiente manera:

- **Base** descrita como el zócalo
- **Elevado** es superficie horizontal de fachada, parte de la zona intermedia
- **Terminación** representa el coronamiento
- **Esquina** definida por los bordes verticales de los cerramientos comprendidos en los límites laterales
- **Los tramos** son segmentos horizontales comprendidos entre las áreas de elevación y las aberturas
- **Elementos añadidos** comprenden partes decorativas añadidas al plano de la fachada

Como referencia a la posible vulnerabilidad de los componentes de una fachada, los autores (Santos *et al.*, 2011) marcan unos criterios empíricos basados en la experiencia profesional en cuanto al grado de repercusión de cada elemento sobre la durabilidad global de la fachada.



Asimismo se evalúa cada uno de ellos en base a la posible aparición del fallo, es decir, se propone cualitativamente su grado de vulnerabilidad. El sistema empleado, así como su clasificación y subdivisión, se muestra en el esquema orbital de la Figura 2.13.

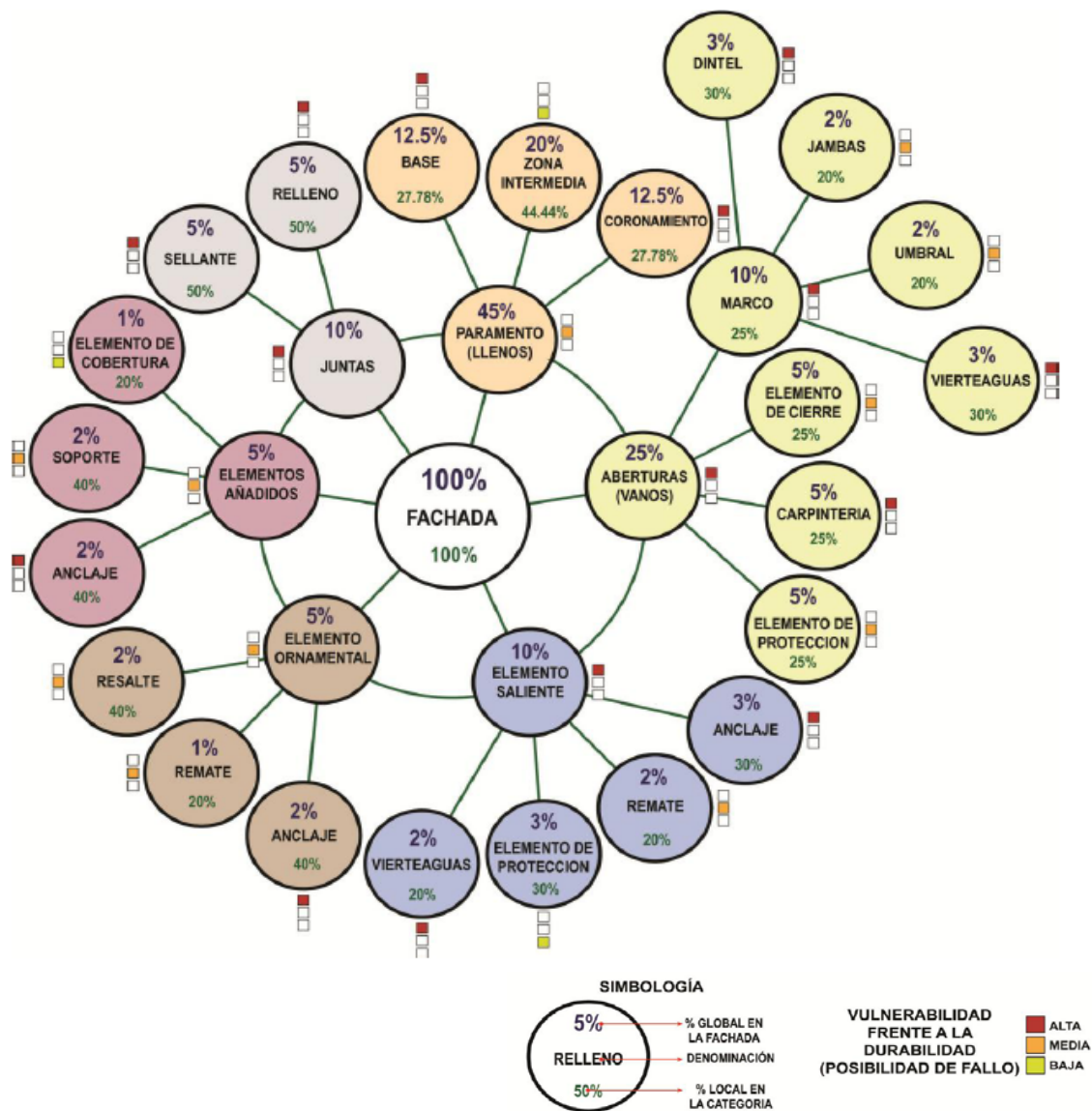


Figura 2.13 Esquema relacional de la vulnerabilidad de los componentes de la fachada frente a la durabilidad (Santos et al., 2011)

### 2.2.1. Estados evolutivos de las lesiones

En la bibliografía sobre qué tipo de lesiones podemos encontrarnos habitualmente en los paramentos de fachada, se quiere evaluar si hay estudios que determinen la evolución en cuanto a la gravedad a lo largo del tiempo de la lesión; si existe alguna teoría sobre la coexistencia de lesiones sobre una misma área y si dicha coexistencia sigue alguna tendencia; y si las lesiones observadas evolucionan hacia una transformación dando lugar a otro tipo de lesión.

## Tipologías de lesiones

La fachada como ha quedado referenciado está expuesta a un conjunto de fuerzas internas y externas de tipo mecánicas, físicas y químicas, que vulneran el estado de los elementos que la constituyen (Beasley, 2012). Por ende las lesiones que pueden sufrir tienen su origen principal en este tipo de acciones y son clasificadas por estas mismas denominaciones (Monjo Garrió, 2007).

Tras los resultados de un estudio realizado por Chew y De Silva (2004) para identificar mediante encuesta de campo a 450 propietarios y las entrevistas a 20 profesionales expertos en la intervención en fachadas; los autores proponen una identificación para clasificar lesiones. Neto y de Brito (2011) en su estudio sobre las metodologías de inspección de fachadas de piedra identifican también las lesiones que pueden aparecer en el cerramiento. Por otro lado, estudiando la vulnerabilidad de los elementos que definen la durabilidad de un edificio en Monjo Garrió (2007) se definen un conjunto de lesiones que pueden afectar el cerramiento.

Producto de estas consultas, podemos identificar en el cerramiento las siguientes tipologías generalistas de lesiones:

- **Lesiones Físicas**, que tienen su origen en un proceso delimitado por leyes físicas, afectando las características de los materiales que forman los elementos del cerramiento. Se pueden presentar como:
  - *Humedades*: capilares, de filtración, de condensación y accidentales.
  - *Suciedad*: por depósito o por lavado diferencial.
  - *Erosión*: producto de la intervención de agentes atmosféricos.
- **Lesiones Mecánicas**, que derivan de procesos mecánicos por causas de fuerzas internas y externas que afectan las propiedades portantes del cerramiento. Se pueden presentar como:
  - *Deformaciones*: flechas, pandeos y alabeos.
  - *Roturas*: grietas y fisuras.
  - *Desprendimientos*: pérdida de material tanto en acabados continuos como en acabados discontinuos.
  - *Erosión*: pérdida de material superficial provocada por acciones mecánicas.
- **Lesiones Químicas**, que son el resultado de la reacción química entre los materiales de la fachada y los agentes atmosféricos, entre éstos: la contaminación y agresividad ambiental. Se pueden presentar como:
  - *Eflorescencias*: manchas por depósitos salinos, red capilar, ambientales.

- *Corrosión*: oxidación previa, aireación diferencial, inmersión, par galvánico.
- *Organismos*: animales, hongos, plantas, otros.
- *Erosión*: contaminación ambiental (iones sulfuro, ácidos, monóxido y dióxido de carbono, partículas metálicas, etc.), entre éstos: pátinas, costras, lixiviación.

### Estados evolutivos

La degradación o el estado de lesiones de una fachada es el resultado de una apreciación global consistente en la asociación de un conjunto de daños según una tendencia evolutiva (Caterina *et al.*, 2001).

Existen dos ideas que rigen el estado evolutivo de las lesiones de una fachada. La primera es que son el resultado de un conjunto de factores causales cuya característica parte de la conjunción y la interacción entre ellas (Caterina *et al.*, 2001), definiendo que un defecto se orienta a una o varias patologías; así también los factores causales de degradación son de carácter permanentes (medio ambiente, fuerzas internas y externas), determinando un carácter activo de las lesiones de futuro. Así pues, la presencia persistente de las causas de la degradación y su interacción con otras causas producen aumento significativo de la decadencia en las fachadas (Cantone *et al.*, 2004). La segunda idea consiste en la noción de sistema, la fachada está compuesta por partes entre las que existe una profunda relación (Caterina *et al.*, 2001), dicha relación fluctúa, cambia hacia configuraciones distintas, lo que determina que la afectación de un elemento altere el sistema funcional del conjunto de la fachada.

Dado que la fachada es un subsistema interrelacionado que trabaja como una unidad y que las lesiones que padecen sus elementos constitutivos son de carácter dinámico, las lesiones se constituyen en causas de otras lesiones más severas que pueden manifestarse en agravamiento o en mutación de la lesión primaria. Bajo este planteamiento los defectos argumentan las causas de otros defectos que obedecen al principio de que uno de ellos puede transformarse, constituyendo un proceso que varios autores han denominado cadena de degradación (Caterina *et al.*, 2001; Chew y De Silva, 2004; Neto y de Brito, 2011; Rodrigues *et al.*, 2011). Dicho concepto sugiere un modelado de degradación haciendo énfasis en las relaciones y las secuencias o tendencias de las patologías de las fachadas mediante diagramas, matrices o algoritmos lógicos que son capaces de describir el curso de la degradación (Caterina *et al.*, 2001).

En un estudio realizado por (Cantone *et al.*, 2004) sobre la durabilidad de la piedra natural en fachadas, se describen los casos hipotéticos de evolución de las lesiones (ver Figura 2.14), basados en el planteamiento de un estudio riguroso de las soluciones adoptadas en las fachadas así como las técnicas de evaluación. La idea es comprender el estado de degradación para poder visualizar el estado evolutivo de las lesiones. El planteamiento consiste en pensar los fenómenos de degradación como una imagen de un momento específico de la evolución y verlos como un resultado simple de causa-efecto. Los autores establecen la necesidad de definir las causas de

degradación mediante un estudio preliminar de cada fenómeno único, sobre la base de su localización e intensidad. El fenómeno es considerado como una evidencia de las causas relacionadas.

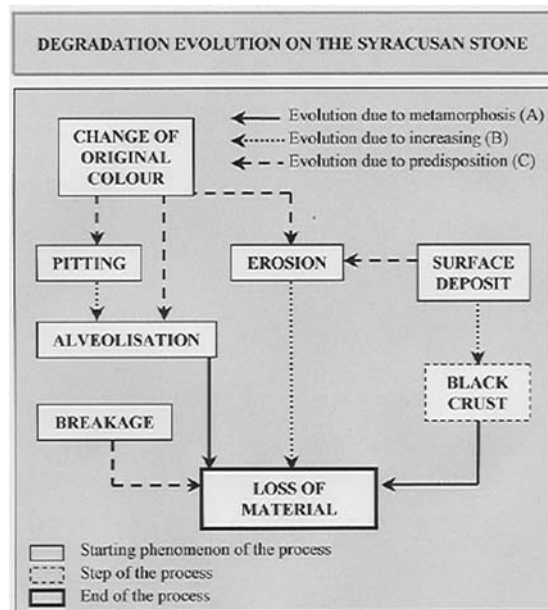


Figura 2.14 Evolución de la degradación de las fachadas siracusanas (Cantone et al., 2004)

### Cadenas de transformación de las lesiones

Las principales aproximaciones metódicas en establecer un modelo evolutivo de las lesiones radican en la probabilidad de ocurrencia de un acontecimiento.

Las investigaciones de Neto y de Brito (2011) sobre sistema de inspección y diagnóstico de los defectos del revestimiento de piedra natural, persiguen sistematizar las inspecciones y el diagnóstico de defectos para reducir la subjetividad habitual en estas actividades. Desarrollan una metodología basada inicialmente en la identificación y clasificación de los defectos y las causas probables. Estos datos se utilizan para elaborar matrices de correlación de defectos y las causas probables entre defectos. El sistema propuesto fue validado a través de 128 inspecciones de fachadas, que posteriormente fueron sometidas a un post-tratamiento y análisis estadístico. Los autores desarrollan una matriz orientada a determinar la relación entre defectos y la probabilidad que éstos produzcan otros o que evolucionen. Este enfoque abre la posibilidad de que defectos en la fachada estudiada ocurran simultáneamente. Un índice de correlación interdefecto, con el objetivo de determinar aproximadamente la probabilidad de que el defecto pueda producirse cuando aparece otro. Este índice,  $C_{j,k}$ , se obtiene de los factores individuales de la matriz de correlación de causas de defectos probables y estima la probabilidad de que el defecto 'j' se produzca cuando se produce 'k'. Téngase en cuenta que  $C_{k,j} \neq C_{j,k}$ . A modo de ejemplo se presenta la Tabla 2.1 en la que se definen porcentajes de ocurrencia de los distintos defectos estudiados por los autores.

C/A	A-A1	A-A2	A-F1	A-F2	A-B1	A-B2	A-B3	A-P1	A-P2	A-P3	A-DE1	A-DE2	A-DE3	A-JU1	A-JU2	A-JU3	A-Fi1	A-Fi2
A-A1	—	14%	20%	33%	22%	16%	23%	22%	45%	13%	25%	41%	11%	30%	3%	13%	25%	14%
A-A2	56%	—	31%	56%	38%	19%	0%	31%	50%	19%	56%	56%	31%	50%	6%	25%	44%	19%
A-F1	22%	9%	—	78%	5%	2%	0%	9%	14%	26%	29%	38%	26%	7%	12%	41%	14%	14%
A-F2	31%	13%	66%	—	10%	4%	0%	13%	18%	24%	29%	46%	21%	12%	15%	40%	21%	15%
A-B1	78%	33%	17%	39%	—	44%	11%	22%	67%	11%	39%	39%	11%	56%	11%	17%	33%	17%
A-B2	83%	25%	8%	25%	67%	—	8%	17%	67%	8%	25%	25%	8%	58%	8%	8%	33%	17%
A-B3	94%	0%	0%	0%	13%	6%	—	25%	50%	0%	0%	13%	0%	50%	0%	0%	25%	0%
A-P1	64%	23%	23%	41%	18%	9%	18%	—	32%	18%	23%	41%	9%	36%	5%	41%	32%	32%
A-P2	85%	24%	24%	35%	35%	24%	24%	21%	—	15%	35%	41%	15%	47%	3%	9%	29%	9%
A-P3	40%	15%	75%	80%	10%	5%	0%	20%	25%	—	30%	50%	25%	10%	10%	25%	15%	25%
A-DE1	50%	28%	53%	63%	22%	9%	0%	16%	38%	19%	—	56%	38%	22%	13%	34%	25%	16%
A-DE2	57%	20%	48%	67%	15%	7%	4%	20%	30%	22%	39%	—	22%	20%	13%	33%	33%	20%
A-DE3	29%	21%	63%	58%	8%	4%	0%	8%	21%	21%	50%	42%	—	13%	17%	46%	17%	21%
A-JU1	73%	31%	15%	31%	38%	27%	31%	31%	62%	8%	27%	35%	12%	—	4%	19%	35%	8%
A-JU2	14%	7%	50%	71%	14%	7%	0%	7%	7%	14%	29%	43%	29%	7%	—	57%	7%	14%
A-JU3	20%	10%	60%	68%	8%	3%	0%	23%	8%	13%	28%	38%	28%	13%	20%	—	18%	18%
A-Fi1	67%	29%	33%	58%	25%	17%	17%	29%	42%	13%	33%	63%	17%	38%	4%	29%	—	21%
A-Fi2	50%	17%	44%	56%	17%	11%	0%	39%	17%	28%	28%	50%	28%	11%	11%	39%	28%	—

Tabla 2.1 Matriz de asociación entre defectos (Neto y de Brito, 2011)

### 2.3. Tipos de inspecciones a gran escala

Uno de los puntos clave en el desarrollo de la investigación consiste en establecer cuáles van a ser los indicadores óptimos para el estudio de las distintas áreas urbanas a estudiar.

El estudio parte de la fachada como el elemento de menor magnitud, extrapolándolo a lo que hemos denominado frente urbano, que contempla una visión global del conjunto de fachadas que integran una ciudad. Así surge la necesidad de trabajar a distintas escalas. Todo con el objetivo de crear una metodología de inspección para la obtención de datos relativos al estado de degradación del elemento “fachada”. La incorporación de un análisis a una escala mayor posibilitará la creación de tendencias en función de otro tipo de indicadores definidos sobre la escala urbana.

#### Concepto de escala

Para determinar la escala adecuada de análisis, es necesario conocer cómo funciona el sistema general y encontrar los elementos que son asociativos o definitorios de una escala a otra. De ahí que conocer los límites de cada escala, así como su aplicabilidad, son temas de transcendencia para el investigador que desea estudiar un determinado sistema.

En los estudios urbanos, por la diversidad de los mismos; se estila la aplicación del concepto de multiescala, que en su concepción más pura se define como una representación del territorio y sus procesos vistos desde los niveles posibles para realizar el análisis temporal (Chaves, 2010).

Dada la complejidad de definir los patrones de crecimiento urbano, al establecer escalas de actuación, se debe prestar atención a los parámetros que definen la ciudad como sistema, mediante una jerarquización que defina las relaciones que se producen a nivel interno (Bessey,

2002). La escala, por tanto, juega un papel fundamental en la comprensión de la estructura urbana que define los niveles de análisis del comportamiento espacial. Bessey plantea que determinados estudios pueden no resultar significativos si se evalúan parámetros a macro escala, debido al distinto comportamiento de los mismos en la extensión del territorio, por lo que resulta positivo evaluar escalas menores que sí ofrecen resultados relevantes.

Cabe destacar que existen niveles o clases de escalas que posibilitan un determinado grado de libertad al investigador en función de los objetivos perseguidos. Varios autores (Gluch *et al.*, 2006; Baklanov y Nuterman, 2009; Chaves, 2010) en sus estudios han establecido la siguiente clasificación en función de la magnitud y tipología del elemento estudiado:

- **Micro escala**
- **Meso escala**
- **Macro escala**

A partir de la clasificación establecida se presenta el concepto de multiescala para aportar un mayor conocimiento al estudio basado en el flujo ascendente y descendente de la información obtenida a partir del análisis realizado en las distintas escalas.

Un ejemplo de estudio a multiescala es el realizado por Gluch *et al.*, (2006) en el que se efectúa un análisis térmico con el fin de entender mejor el microclima urbano. Éste define dos tipos de escalas: una a nivel comarcal y otra a nivel regional. Los autores parten de los datos de microclimas (microescala) que ofrecen una noción de la variabilidad y una mayor resolución de la información disponible con mayor cantidad de datos. A su vez estos valores obtenidos fueron mejorados a partir de ciertos indicadores a distintas escalas que permitieron obtener un valor numérico.

Otros autores aplican la representación multiescalar sobre el medio atmosférico en zonas urbanas utilizando un sistema de reducción de escala regional a escala de la ciudad, mediante modelos informáticos (Baklanov y Nuterman, 2009). El estudio se realizó utilizando dos vías de análisis (ascendente y descendente). Los efectos de ambas direcciones (de la mesoescala a la microescala y de la microescala a la mesoescala), son discutidos concluyendo que, en un sentido general, la interacción escalar puede desempeñar un papel importante en ambas direcciones. Los autores también concluyen que los avances tecnológicos van a permitir trabajar con criterios multiescalares para evaluaciones de predicción más precisas sobre la meteorología urbana y la contaminación del aire.

Del análisis realizado se puede extraer la conclusión que la utilización de sistemas multiescalares permite enfocar los resultados obtenidos en distintas orientaciones, flexibilizando el tránsito de la información para la mejora de los resultados del conjunto del sistema.

## Detección del estado de degradación global de las fachadas

Este apartado muestra que respecto de la metodología de inspección de las fachadas aún no existe consenso entre los diferentes autores. Sin embargo es común la necesidad de extraer la información del propio elemento estudiado ya que no se dispone de otro tipo de fuente de información que sea más veraz. En cuanto a cómo tratar los datos, se están trabajando desde el resultado cuantitativo de la muestra hacia la aplicación de distintas metodologías de análisis estadístico muy diversas. Esta variabilidad en el análisis de los datos justifica la necesidad de seguir investigando las posibilidades de un sistema predictivo que integre además un análisis científico basado en un estudio crítico sobre el enfoque metodológico del tema.

Una de las primeras referencias que se tiene constancia sobre inspecciones de grandes áreas urbanas es la realizada por [Jordana y Gibert \(1999\)](#) en el estudio “*Pla pilot de l'estat de les façanes en edificis de l'Eixample de Barcelona*”. En dicho estudio, existe una preocupación debido al envejecimiento de sus edificios, conjuntamente con el de su población.

El trabajo nace al amparo de dos líneas de investigación dentro del Laboratorio de Edificación de la Universitat Politècnica de Catalunya.

- Línea de “*Qualitat total dels processos d'edificació*” dirigida por Francesc Jordana.
- Línea de “*Modelització, durabilitat i manteniment en l'edificació*” dirigida por Vicente Gibert.

El objetivo del proyecto consistía en detectar y eliminar riesgos inminentes de desprendimiento, identificar otros tipos de lesiones con su magnitud y gravedad, y determinar si se podía considerar el fenómeno de la edad del edificio como un parámetro determinante de las disfunciones halladas en las fachadas.

Para llevar a cabo el estudio, se analizaron un total de 250 fachadas de Barcelona, distribuidas según los períodos constructivos representados en el distrito del Ensanche. La recogida de los datos se realizó mediante fichas que aportaron información sobre tipos de actuaciones clasificadas como inmediatas, corto plazo, medio plazo, largo plazo y mantenimiento. El resultado de fachadas lesionadas correspondió a un 13.2% de lesiones con riesgo inmediato, un 8.3% a corto plazo, un 29.4% a medio plazo, un 35.9% a largo plazo y el 13.2% para mantenimiento.

El trabajo de [Jordana y Gibert \(1999\)](#) introduce una metodología de inspección en grandes áreas urbanas, que resulta rápida y eficaz para la prospección y la toma de datos. Los datos recopilados muestran la realidad del estado en el que se encuentran las fachadas fundamentado en la situación, el tipo de lesión, su magnitud y, por último, su gravedad. Este estudio proporciona datos cuantitativos del estado de las fachadas inspeccionadas en el instante de su inspección pero no aplica sobre estos resultados ninguna teoría de supervivencia para poder analizar y predecir de forma anticipada la evolución de la degradación a lo largo del tiempo.

Una de las causas que impulsó este estudio fue el fuerte impacto social que existía en la época, debido a algunos sucesos ocurridos sobre la vía pública como consecuencia de la caída de parte de elementos integrantes de las fachadas. Muestra de la inquietud del momento se puede constatar en el Anejo B, en el que se destaca la activa preocupación y participación de los autores sobre esta problemática.

Por otra parte [Sousa et al. \(1999\)](#) analizaron las envolventes de 4.000 fachadas en viviendas construidas entre los años 70 y 80, y que fueron reparadas entre 1988 y 1997, ubicadas en 32 zonas residenciales en el norte de Portugal, con el objetivo de evaluar el comportamiento de las tecnologías de rehabilitación adoptadas en las mismas. Las autoridades de Portugal estaban preocupadas por los grandes esfuerzos que se habían hecho en los años 1995-1999 para construir nuevas zonas residenciales, mientras que el esfuerzo para rehabilitar era mínimo. Este hecho daba como resultado la disminución y abandono de algunas zonas antiguas. El convencimiento que un deficiente diseño y ejecución de las fachadas de edificios, así como el uso de materiales inadecuados eran las principales causas de la aparición de patologías en las envolventes de nuevos edificios, condujo a la realización de este trabajo de investigación.

En la primera fase, el estudio consistió en la caracterización de los detalles de las fachadas de los edificios y en la caracterización de las tecnologías de rehabilitación adoptadas. En una segunda etapa, cada fachada se analizó "in situ". Tras clasificar las patologías de acuerdo al área degradada en 4 niveles y al grado de degradación también en 4 niveles, se introducen otras variables como son la calidad del soporte en función del tipo constructivo, el grosor y el tiempo transcurrido desde la realización de la rehabilitación. Esta información les permite establecer un modelo para la durabilidad, en función de la técnica de rehabilitación utilizada, así como para los costes asociados a su respectiva intervención.

Los autores concluyen que en términos generales, debido a la diversidad de las actuaciones, cada proceso de rehabilitación es un caso por sí solo. Sin embargo, no hay que olvidar que ciertos aspectos como el método de aplicación de la tecnología y la especificación de las características técnicas de los materiales utilizados pueden influir en los resultados obtenidos.

Otros estudios a escalas urbanas de los cuales tenemos constancia bibliográfica son los realizados por [Mendes da Silva et al. \(2010\)](#) para los edificios del casco antiguo de la ciudad de Coímbra (Portugal), para el conocimiento y la promoción de su rehabilitación. El proyecto se centra en la preocupación de la conservación del patrimonio existente y cómo desarrollar una plataforma de gestión del parque de viviendas con el objetivo de conseguir la mejora social y económica de la zona. Para realizar el estudio se entendió que el proceso de mejora no podía ser sostenible sin una evaluación previa de vulnerabilidad y evaluación de riesgos del estado de las edificaciones.



El objetivo principal de este trabajo era desarrollar, según los autores, un sistema de primer nivel fiable de evaluación de la vulnerabilidad sísmica, que podría ser utilizado para evaluar distintas zonas urbanas, específicamente para los edificios de mampostería de cierta edad.

En el estudio participaron más de 400 fachadas de la parte alta de la ciudad de Coímbra y unas 700 situadas en el centro, para determinar el estado actual de degradación así como los materiales usados. Los autores a partir de los datos hallados en campo se plantean clasificar los resultados de los distintos estudios en una base de datos-web. Para lograr esta clasificación emplean un SIG con el fin de localizar las diferentes zonas objeto de investigación y conseguir documentar de forma efectiva los estudios de actividad sísmica.

El desarrollo e implementación de una herramienta con un enfoque multipropósito conectada con una base de datos relacional, dentro de un entorno SIG, se realizó en ArcGIS 10. Dicho programa les permitió disponer de un acercamiento más profundo e integral del perímetro del proyecto y por lo tanto, ser capaces de entender las tipologías constructivas con valor histórico, las necesidades de conservación, la vulnerabilidad sísmica de los edificios, escenarios de daños y pérdida, la estimación de costes y evaluación de los riesgos de impacto.

El proyecto propone una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad basada en el método de índice de vulnerabilidad, el cual se fundamenta en el enfoque del nivel GNDT II<sup>7</sup> para la evaluación de la vulnerabilidad de los edificios de mampostería residenciales. La vulnerabilidad general se calcula como la suma ponderada de 14 parámetros utilizados en la formulación del índice de vulnerabilidad sísmica. Estos parámetros están relacionados con 4 tipos de clases de vulnerabilidad crecientes. A cada parámetro evaluado se le asigna un peso que determina una característica del edificio para poder influir en la respuesta del mismo. El índice calculado puede ser utilizado para estimar el daño en los edificios bajo una intensidad sísmica especificada, por ubicación, edad, características, etc.

Los escenarios de estimación de daños físicos para el patrimonio inmobiliario se determinan a partir de la correlación del riesgo y el valor medio del grado de daños. La evaluación de las pérdidas por sismo, resulta de la identificación de las vulnerabilidades y daños con los datos socio-demográficos, económicos y físicos del entorno. La herramienta permite emitir estimaciones físicas, humanas y en valores económicos de las pérdidas ante eventuales acontecimientos.

La presentación de las evaluaciones se realiza en una escala cromática que permite la fácil interpretación de la misma, al tiempo que es posible visualizar la información de forma esquemática para poder extraer las ideas más concluyentes. La metodología aplicada es práctica

---

<sup>7</sup> Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti – GNDT-SSN (1994).

Ficha de exposición y vulnerabilidad y detección de los daños de primer y segundo nivel (mampostería y hormigón), Grupo Nacional para la Defensa de los Terremotos, Roma.

y flexible, y permite un manejo multidisciplinar, además de la posible aplicabilidad a otras zonas, ciudades y a la edificación haciendo pequeños ajustes de los parámetros que intervienen.

Este tipo de estudios científicos nos acercan a la gestión mediante inspecciones realizadas en la ciudad, con el objetivo de mejorar la rehabilitación de la edificación existente. Su función tiene un concepto más preventivo que predictivo, e introduce un sistema de gestión que a la larga les facilitará obtener datos que en base a segundas inspecciones y evaluación de las mismas les permitan hacer estimaciones predictivas.

Otro de los estudios orientados a la durabilidad de los edificios a escala urbana es la metodología de evaluación realizada por [Rodrigues et al. \(2011\)](#). Éste parte de la premisa de que los mecanismos de deterioro son la consecuencia de la interacción de dos variables: el edificio, como un ente físico y el medio ambiente, como una fuente de agentes.

El objetivo era presentar una metodología del estudio visual del nivel de degradación de la envolvente de los edificios y los resultados obtenidos para el grado de degradación de cada anomalía tipificada, así como el nivel de rendimiento de cada edificio en relación con un conjunto de requisitos funcionales.

La metodología se aplica a un conjunto de viviendas en Portugal, permitiendo identificar las principales anomalías visibles en su envoltura externa. Con el fin de lograrlo se han establecido dos escalas de valoración: una para la degradación aplicable sobre anomalías tipificadas, y la otra para el nivel de rendimiento de cada una de ellas en referencia a un conjunto de requisitos funcionales. Se marca un nivel de degradación (DL) de cada anomalía y los resultados de todas las anomalías tipificadas son interpretados conjuntamente para obtener el índice de evaluación (IE) de la envoltura exterior de cada edificio estudiado. La inspección visual incluye la evaluación de su envoltura externa y las encuestas realizadas al 15% de los ocupantes. El fin que persigue la encuesta es obtener cada uno de los niveles de degradación del edificio y el rendimiento global.

En el estudio se utilizan distintos métodos analíticos y estadísticos para medir el rendimiento del edificio y, posteriormente, el apoyo a la decisión de las medidas correctivas: Multi-Atributo Decisión de la Ayuda (MADA), *Quality Function Deployment* (QFD) y Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE). En particular, AMFE es utilizado como mecanismo para identificar causa-efecto en cadenas de degradación (relación entre lesiones), tema éste que nos va a preocupar en otro punto del estado del arte de esta tesis.

Los autores se auxilian en una tabla que utiliza una escala de evaluación de 8 niveles, acotando los diferentes estados de las lesiones en cuanto a su propagación e incidencia; así su punto de apoyo está en las humedades, aspectos visuales y la durabilidad. La escala de evaluación utiliza un número asociado que identifica el nivel de degradación en una escala del 3 al 10. El estado de degradación es asociado a una nota global mediante un modelo de cálculo que pondera el

rendimiento de la fachada completado con entrevista a los usuarios, ponderando las escalas de peso de los factores de rendimiento y degradación.

La metodología ha permitido el desarrollo de herramientas para apoyar el estudio sistemático de los defectos visuales en la envolvente de los edificios. La escala de evaluación que se presenta es una herramienta esencial para evaluar el nivel de degradación de las viviendas, por lo tanto, apoyado en el nivel de degradación y el nivel de rendimiento de los edificios.

## 2.4. Estudios analíticos de supervivencia

La bibliografía específica hallada sobre el tema de supervivencia o fiabilidad en el comportamiento de la edificación existente es escasa y, a su vez, muestra metodologías y técnicas de análisis distintas que, aunque tienden a buscar los mismos objetivos predictivos, se basan en la observación de los tiempos de fallo, cuando -de manera realista- esto no es así en la mayoría de casos.

La determinación de la durabilidad es una constante en todos los autores consultados que se citan a continuación, encontrando que en general la talla muestral empleada es insuficiente para que ésta pueda ser tomada como representativa. Es por ello, que trabajar con una muestra mucho mayor permite obtener datos más representativos y posibilita análisis a macroescala del frente urbano; éste es un hecho diferencial relevante entre la investigación que se presenta en esta Tesis y la que muestran las publicaciones científicas consultadas.

### Predicción de vida útil de revestimientos en fachadas

Uno de los primeros enfoques estadísticos para la predicción de la vida de servicio de los materiales de construcción es el propuesto por [Flourentzou et al. \(2000\)](#). Los autores introducen MEDIC como método de evaluación de escenarios de probables degradaciones para predecir el estado futuro de la degradación del edificio. La predicción se basa en la combinación de la probabilidad a priori basada en la experiencia de un gran número de investigaciones anteriores y el estado actual del elemento objeto de estudio.

Para llevar a cabo esta investigación, los autores se han basado en un trabajo teórico que describe las funciones para la descripción del desarrollo de cada estado de degradación y en un trabajo práctico realizado por la Oficina Federal Suiza de Política Económica en el marco del programa PI BAT, en que se desarrolla un método de estimación de presupuestos de inversiones (MEBI). MEBI basa sus predicciones en una encuesta a gran escala entre 30 expertos en el sector de la construcción sobre 120 edificios, y es capaz de calcular el tiempo de vida residual de 50 elementos de construcción diferentes para evaluar la evolución del presupuesto de inversión de remodelación con la condición de que no se lleven a cabo obras de rehabilitación durante este periodo. La base de conocimiento de dicho método se resume en cuatro curvas de probabilidad

para cada elemento del edificio. MEDIC calcula, por tanto, el tiempo restante de un elemento de construcción como una distribución de probabilidad.

A partir de esta curva acumulativa se puede extraer la siguiente información: un revestimiento de 10 años de edad tiene un 100% de probabilidad de corresponder a un código "a" (buen estado), mientras que un revestimiento de 30 años de edad tiene un 80% de probabilidad de corresponder a un código "b" (defecto cognitivo leve) y un 20% a un código "c" (defecto grave). Asimismo, un revestimiento de 90 años tiene una probabilidad del 100% de corresponder a un código "d" (debe ser sustituido).

El conocimiento del código de deterioro (a, b, c, d) y de la edad del elemento, permite determinar un intervalo de calidad dentro del rango [0,1] y proporcionar así una estimación de probabilidad de deterioro con mayor precisión. Tras determinar el estado actual y el subespacio de un elemento, es posible determinar la probabilidad de tener el código a, b, c, d para los años siguientes del instante diagnosticado.

La metodología propuesta en este estudio tiene el inconveniente de que el proceso de deterioro se describe por estratificación en cuatro estados, siendo imposible determinarlo si no se conoce a priori la distribución real del tiempo hasta el deterioro. Dicho método tampoco permite referirse a la evolución de la lesión en un cierto momento, únicamente a la transición de un estado a otro.

### **Predicción de vida útil de fachadas con revoco**

Con unas ciertas analogías en el estudio de la predicción de la vida útil en elementos de fachadas, se han encontrado los trabajos realizados por Jorge de Brito y Pedro Gaspar de la Universidad Técnica de Lisboa, Portugal.

El primer estudio realizado por [Gaspar y de Brito \(2003\)](#) define un método para determinar los factores de durabilidad independientes basados en tres pasos:

- Identificar un patrón de degradación para el material considerado, ya sea a través de ensayos de laboratorio o mediante inspección visual en el trabajo de campo.
- Expresar la pérdida de rendimiento en las curvas de degradación de manera que las estimaciones de la vida útil se puedan obtener para todos los casos estudiados.
- Agrupar cada caso de predicción de vida útil de acuerdo a la identificación de sus diferencias de los factores de durabilidad, los patrones de la vida útil que se espera y los resultados discutidos.

En el estudio se identifican tres fases de deterioro que describen la pérdida de rendimiento a lo largo del tiempo del revoco en las fachadas.

El artículo propone una metodología capaz de determinar la dependencia de los factores de durabilidad que afectan a las prestaciones o funcionalidad de los revocos en fachadas. Sin embargo, para poder analizar las rectas de regresión de las diferentes variables, es necesario identificar un patrón de degradación de este material. Los autores describen los métodos empleados para determinar dicho patrón: a través de ensayos de laboratorio o mediante inspección visual en el trabajo de campo. Dado que el material estudiado se encuentra en el exterior de los edificios expuesto a los efectos de los agentes externos, no resultaría recomendable estudiar su degradación a lo largo del tiempo a partir de ensayos de laboratorio. La idea de analizar su comportamiento mediante inspección visual es, sin duda, la que refleja mejor la evolución real de este material, no obstante, establecer una programación temporizada de inspecciones de campo no resulta una tarea simple.

[Gaspar y de Brito \(2005a\)](#) definen el nivel de degradación general (ODL) como el sumatorio promedio de todos los defectos de acuerdo con su nivel de afectación, expresando así, el nivel de degradación actual del edificio o de sus partes en el momento de la inspección. Es evidente que este enfoque asume que el tiempo hasta el evento coincide con el tiempo de inspección, lo que es una hipótesis irreal que sobrestima el tiempo de deterioro. El ODL lo representa mediante curvas de regresión lineal a partir de la variable dependiente “condición” y la variable independiente “tiempo”. Los resultados obtenidos para la degradación de revocos en un entorno marino mostraron una calidad media de la estimación ( $R^2 \sim 0.73$ ) debido, según los autores, al número relativamente pequeño de la muestra (150 edificios), a factores ambientales y al contexto económico y social que vivió Portugal en aquella época y que condicionó la calidad del parque edificado. Dicha dispersión pensamos que no se debe a la magnitud de la muestra sino al tipo de metodología empleada, la cual tan sólo ha sido capaz de explicar el 73% de la variabilidad. Los datos utilizados en este estudio se han considerado teniendo en cuenta que, si existía alguna lesión en la fachada en el momento de realizar la inspección, significaba que el elemento “revoco” había fallado justo en ese instante. Esta hipótesis, como ya se ha dicho anteriormente, es irreal, ya que no es posible determinar a partir de una sola inspección de campo el momento de fallo del elemento y, por tanto, los datos obtenidos presentan una censura por la izquierda que no es tenida en cuenta por los autores.

El trabajo desarrollado por [Gaspar y de Brito \(2005b\)](#) propone un modelo que define la velocidad de deterioro de los revocos en función de las condiciones ambientales, y que a su vez proporciona datos que permiten determinar intervalos de variación para cada uno de los índices a considerar en el cálculo de la vida útil de los revocos exteriores.

Para estimar la vida útil de los revocos, los autores se basaron en una curva teórica de prestaciones a través de métodos de regresión en función del tipo de agresividad del agente de degradación ([Shohet, 1999](#)). En este sentido, se pueden representar seis ritmos diferentes de degradación. De acuerdo con los ritmos de degradación propuestos por [Shohet \(1999\)](#) podríamos interpretar que las condiciones ambientales afectan de modo irregular a la vida útil de los revocos exteriores. Sin embargo, existen otros factores capaces de acelerar o ralentizar la

evolución de la lesión a lo largo del tiempo como por ejemplo la calidad del material y de la ejecución en obra, así como su uso y mantenimiento.

Pedro Gaspar y Jorge de Brito en el estudio "*Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators*" (Gaspar y de Brito, 2008a) evalúan y cuantifican los efectos ambientales sobre las fachadas en condiciones reales de vida útil. Para llevarlo a cabo, analizan el impacto visual del entorno climático sobre el rendimiento estético y la durabilidad del material a partir del trabajo de campo realizado sobre 19 revocos de fachadas en la capital de Portugal, Lisboa. La degradación de las fachadas se produce debido a los efectos combinados de lluvia, viento, luz solar, organismos biológicos y contaminantes atmosféricos. Este proceso generalmente se activa por el flujo de agua de lluvia sobre el revestimiento de la fachada. En este trabajo, los efectos ambientales se miden en función del nivel de degradación (ODL), definido en Gaspar y de Brito (2005b), ya que se consideró que era un indicador de rendimiento que permite la evaluación comparativa de diferentes edificios y soluciones constructivas, incorpora información indirecta de las necesidades y los gastos de mantenimiento, y proporciona un indicador de la durabilidad sencillo para el análisis del impacto ambiental. La investigación incluye la propuesta, el análisis y la comparación de degradación basados en los datos de campo.

Si bien el estudio a) introduce la jerarquía entre los diferentes tipos de degradación y b) la preocupación por el riesgo que la degradación pueda ocasionar, adolece a su vez de un insuficiente tamaño muestral para analizar y comparar los indicadores de degradación propuestos.

La investigación realizada por Gaspar y de Brito (2008b) tiene como propósito cuantificar la vida útil de referencia (RSL) y los factores que afectan a la durabilidad de los revocos en fachadas, a partir de los datos de campo de 150 edificios elegidos al azar y situados en tres zonas diferentes de Portugal, todas ellas con veranos calurosos y secos, e inviernos relativamente suaves: Lisboa (zona urbana), Alcochete (zona con influencia marina fuerte) y Algarve (zona con influencia marina leve). La toma de datos relativos a las lesiones existentes se realizó mediante inspección visual y se clasificaron según una escala discreta de niveles de acuerdo con su nivel de degradación y el tipo de acciones necesarias para corregirlo, desde 0 (sin degradación) hasta 4 (actuación inmediata obligatoria). Este trabajo de campo se realizó entre agosto y diciembre de 2002 y reveló que el 93% de los casos estudiados mostraban signos de degradación.

Si se analizan los resultados obtenidos en el estudio, se aprecia cómo la simulación en la que se ha tenido en cuenta la comprensión empírica de los fenómenos de degradación, es la que mejor cumple los criterios de aceptación, y se considera que es la que proporciona la mejor estimación de vida útil de revocos (utilizando métodos factoriales), en comparación con los valores obtenidos con el método gráfico asociado a los patrones de degradación de este elemento del edificio. Asimismo, se ha comprobado que las simulaciones en las que se ha realizado un pequeño ajuste

de los valores establecidos para los diferentes niveles, pueden proporcionar mejores resultados que la utilización de los valores establecidos por la norma [ISO 15686-1:2000 \(Internacional\)](#).

En líneas generales se puede concluir que los resultados obtenidos tienden a ser conservadores, y por tanto a favorecer enfoques de mantenimiento predictivo, y a minimizar las estimaciones erróneas, que físicamente se manifiestan por un deterioro precoz y la necesidad de realizar mantenimiento correctivo y costosos procedimientos de reparación. Así mismo los resultados obtenidos en el estudio muestran que una modificación de los niveles establecidos por la norma [ISO 15686-1:2000 \(Internacional\)](#) mejoran la estimación de vida útil de las fachadas, sin embargo, es necesario el análisis de una muestra mayor localizada en una única ciudad, de esta forma no se introduce el factor variable de “condiciones ambientales”. Recordemos que para poder modelar un patrón de comportamiento es necesario disponer de una muestra representativa bajo condiciones similares.

### **Desarrollo de un modelo del ciclo de vida en el sector de la construcción**

El Proyecto Cluster ([Sarja et al., 2005](#)) plantea un enfoque holístico uniforme para la evaluación, validación y explotación de infraestructuras civiles y edificios, con plena consideración de funcionalidad y de sostenibilidad económica y ecológica. Para llevar a cabo este proyecto Europeo se ha contado con la cooperación de un grupo de gestión formado por cinco nodos de investigación y práctica, cada uno de los cuales es el encargado de liderar un sub-proyecto.

- Prof. Dr. Asko Sarja, Technical Research Centre, VTT, Finlandia, Coordinador.
- Prof. Phil Bamforth, Taylor Woodrow Ltd, Reino Unido.
- Dr. Dominique Caccavelli y el Dr. Jean-Luc Chevalier, CSTB, Francia.
- Prof. Sevket Durucan, Imperial College of Science Technology and Medicine, Royal School of Mines, Reino Unido.
- Prof. Dr. Max J. Setzer, Technical University Ruhr-Essen, Alemania.

Los objetivos de este proyecto global se definen de la siguiente forma:

- Integrar los conocimientos de los expertos de los cinco subproyectos para avanzar en el trabajo común.
- Cooperar en tareas similares con el fin de evitar la superposición de un trabajo que conlleve a resultados paralelos.
- Producir un trabajo integrado y genérico sobre una guía europea para el ciclo de vida y el tiempo de diseño en la gestión de infraestructuras públicas y de edificios.
- Integrar las redes de información a través de la vinculación entre estos cinco subproyectos.

- Crear y entregar una base de datos constantemente actualizada de los modelos producidos para su ulterior explotación Europea.

El proyecto realiza un análisis de la metodología empleada en el sistema de gestión de la vida útil en el campo de la construcción, que contempla los siguientes aspectos:

- Clasificación de los requisitos genéricos (necesidades humanas, economía de toda la vida, ecología de por vida y criterios culturales), estableciendo una metodología basada en el rendimiento.
- Análisis de la funcionalidad y el rendimiento a lo largo de la vida útil teniendo en cuenta parámetros como la calidad de la construcción, las condiciones climáticas o el mantenimiento.
- Análisis de la vida de la economía con la intención de que las ofertas no incluyan tan solo el coste de construcción sino también los costes del ciclo de vida previsto.
- Análisis de toda la vida ecológica describiendo el concepto y la metodología del proceso del ciclo de vida como herramienta de gestión ambiental.

Para poder establecer los modelos estadísticos de predicción del deterioro de las estructuras, ha sido necesario desarrollar los principios de los métodos alternativos a partir de tres tipos de patrones de degradación. La determinación de múltiples criterios de optimización y toma de decisiones para la selección de inversiones ha permitido clasificar las estrategias alternativas, las tecnologías y los materiales en orden de preferencia, en función de los requisitos genéricos.

El sistema de gestión del ciclo de vida propuesto integra los siguientes principios: fiabilidad, modelos predictivos de cálculo de la durabilidad, facilidad de uso y análisis de obsolescencia, toma de decisiones de múltiples criterios y métodos de optimización. El marco general diseñado para desarrollar el modelo del ciclo de vida de rendimiento forma parte fundamental desde el inicio del proyecto, registrando los procesos de toma de decisión en una especie de “diario a bordo”, con el objetivo de tener un impacto real.

Uno de los aspectos más destacables del amplio proyecto es el interés de los autores por el efecto en la evolución del deterioro en función de la calidad de los materiales. El proyecto propone un diagrama basado en tres curvas de evolución en el tiempo de las fachadas según un concepto de calidad. Esta preocupación por la calidad de los materiales proporciona una mejora en la aproximación hacia un modelo fiable de predicción de vida útil de las fachadas. Sin embargo, sería necesario confirmar estas curvas teóricas con datos obtenidos a partir de inspecciones reales.

Cabe destacar el interés de este Proyecto Europeo por su globalidad y su coordinación en la búsqueda de un objetivo común motivado por inquietudes originadas desde distintos sectores de la construcción. Por otro lado, los estándares norteamericanos y las metodologías avanzadas en



la predicción de la vida útil de los materiales de construcción se pueden encontrar en las referencias del *Institute for Research in Construction* (Montreal, Canadá)<sup>8</sup> (Lacasse, 2008). En todos estos casos, las directrices representan información relevante para definir la gravedad de las lesiones, los estados de iniciación y progresión del proceso de deterioro y las transiciones entre ellos.

### **Introducción de funciones de supervivencia para determinar la vida útil de los edificios.**

Buergel-Goodwin *et al.* (2005) señalaron la importancia de tener información acerca de las funciones de supervivencia de los edificios o elementos de construcción.

Los autores opinan que la adopción simple de los valores aportados por la literatura, sin evaluar los diversos factores de influencia, conduce a resultados arbitrarios. Ven necesario por tanto, utilizar un método más analítico para estimar la vida útil de un elemento como por ejemplo el método del factor descrito en la norma [ISO 15686-1:2000 \(Internacional\)](#). Este método se basa en la vida útil de referencia y en una serie de factores modificados que se relacionan con las condiciones específicas del caso considerado. La vida útil está en función de siete parámetros (A-G) dependiendo de la calidad inherente, el medio ambiente y las condiciones de operación. Sin embargo, concluyen que el análisis de un gran número de edificios existentes y de sus elementos a partir de la combinación de funciones de supervivencia con niveles de degradación proporciona resultados más fiables, al menos para edificios en condiciones similares.

Este trabajo constituye una investigación empírica en la que fue posible determinar las acciones de mantenimiento, reparación y sustitución de varios edificios durante un largo periodo de tiempo a partir de registros de los propietarios de edificios públicos. Las diferencias en el curso de la vida muestran claramente que la edad de los elementos de construcción es sólo uno de muchos factores que conducen a la reparación o remplazo. Los autores determinaron las funciones de supervivencia de los elementos a partir de un estudio precedente en que se establecían las operaciones de reconstrucción, reparación o reemplazo. Posteriormente aplicaron un método similar sobre edificios públicos que mostró resultados análogos. Tras el análisis, se comprobó que los edificios públicos están menos sujetos a modas y a objetivos a corto plazo, y que su historia está determinada por el envejecimiento de mantenimiento regular, la renovación periódica y los cambios debidos a la normativa sobre construcción. En otras palabras, la combinación de calidad de la construcción tradicional, mantenimiento, reparación y remodelación eficiente, conlleva a la larga duración tanto de los elementos de construcción como de los edificios.

Aunque estos autores introducen el uso de las funciones de supervivencia para determinar la vida útil de edificios o elementos de la construcción, la muestra empleada es insuficiente para la

---

<sup>8</sup> <http://archive.nrc-cnrc.gc.ca/eng/libp/jirc.html>

estimación de las curvas de supervivencia y, por tanto, todas las funciones que utilizan son supuestas y no verificadas.

## 2.5. Sistemas de gestión de la información

Nuestras sociedades comprenden y han asumido modelos evolutivos de subsistencia. En este contexto emerge un nuevo concepto, la sociedad de la información, que centra su esencia en las nuevas tecnologías para crearla, gestionarla y distribuirla.

Este hecho, apreciable hoy en día en cualquier actividad del ser humano, comprende una influencia importante en los procesos de análisis y planificación de los entornos urbanos a distintas escalas. [Decker \(1992\)](#) expresa que la aplicación de nuevas tecnologías de la ingeniería informática ofrece una comprensión más amplia y completa de la entidad urbana en todos sus niveles estructurales y sistémicos.

### Definición de un sistema de información geográfica (SIG).

Para establecer qué son los SIG se han formulado una amplia variedad de definiciones supuestamente válidas ([Burrough, 1986](#); [Cebrián y Mark, 1987](#); [Bracken y Webster, 1989](#)). Por esta misma razón no existe una definición consensuada de lo que representa un SIG, pero una de las más aceptadas es la redactada por la *National Center for Geographic Information and Analysis*:

*“Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.”* ([NCGIA, 1990](#)).

En resumen, un SIG debe permitir las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos, tanto sobre su componente espacial, como en su componente temática.
- Obtención de resultados en diferentes formas: mapas, gráficos, informes, etc.
- Capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos que estén georreferenciados.

Pensemos que gran parte de la información está georreferenciada, y éste puede ser un gran punto en común o nexo de unión para efectuar un análisis de diversas variables que en principio no tendrían motivo para estar enlazadas; este punto de unión nos permite ver si hay conexión o no entre las variables.

Actualmente el software SIG es la tecnología esencial para el planeamiento urbano y la gestión de recursos, es decir, para la toma de decisiones. El hecho de poder analizar un enorme volumen de datos y poder situarlos en el terreno, le han convertido en una de las mejores soluciones. Podemos aplicar esta tecnología a innumerables aspectos, como por ejemplo: investigaciones científicas, gestión de recursos, gestión de activos, arqueología, evaluación del impacto ambiental, planificación urbana, cartografía, sociología, geografía histórica, marketing, economía, infraestructuras, transporte...

Existen seis grandes preguntas para las que un SIG siempre tiene respuesta (Maguire *et al.*, 1991):

- **Localización:** Qué hay en un lugar determinado del territorio o qué rasgos posee el mismo (tipo de cualificación urbanística, tipo de equipamiento, pendiente, temperatura,...).
- **Condición:** Dónde hay un hecho concreto (situación de un gimnasio, parque, hospital, o piso con las condiciones que yo necesito,...) o dónde ocurre un fenómeno (dónde hay delincuencia, dónde hay un nivel de contaminación superior,...).
- **Pautas:** Qué distribución espacial tiene un fenómeno (riesgo de inundación, tipo de suelos,...).
- **Tendencias:** Qué cambios temporales han ocurrido en el territorio entre dos situaciones distintas (variación de la superficie de cultivo, evolución de las ciudades, incremento de inmigración,...).
- **Rutas:** Qué ruta seguir para un desplazamiento (itinerarios de autobús, trayecto de los efectivos de emergencias, distribución de mercancías,...).
- **Modelos:** Qué pasaría en el territorio si se supone un cierto proceso de evolución (evolución del desgaste de las fachadas según su orientación, como afectaría el precio de los terrenos si ubicamos una parada de tren, cuál sería el efecto en el mapa de deterioro por la existencia de líneas de metro,...).

Por tanto, el SIG trata de reproducir un modelo de la realidad según unas características o criterios predefinidos que servirá para el fin concreto para el que ha sido diseñado, consiguiendo que la información representada sea exhaustiva y exacta.

La información geográfica que se seleccione para introducir en un SIG se puede dividir en dos componentes principales: la espacial y la temática. La espacial, responde a la cuestión de la localización, el dónde; mientras que la temática hace referencia al qué, es decir, qué fenómeno se está observando en dicha localización.

Debido al aumento de la demanda de información cartográfica por parte de la sociedad, de la amplia disponibilidad de datos geográficos y del desarrollo de las técnicas, se crea el Sistema Cartográfico Nacional donde se incluye la política de datos aplicables a la difusión y accesibilidad de la información geográfica y la política de difusión libre de los productos cartográficos oficiales.

El desarrollo de este sistema de consulta de la información ha sido posible gracias a diversas instituciones, públicas y privadas, tales como el Ministerio de Fomento, la Administración General del Estado, las Administraciones Autonómicas, Entidades Locales, Universidades, Organismos de investigación, empresas públicas, empresas privadas y usuarios particulares.

Por otro, España en 2007 entró a formar parte de INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*), que es una iniciativa de la Comisión Europea que tiene por objetivo la creación de una Infraestructura de Datos Espaciales en Europa. Los estados miembros de INSPIRE deben concebir la infraestructura de información espacial de forma que se garantice el almacenamiento, disponibilidad y mantenimiento de los datos espaciales al nivel de detalle más adecuado; que sea posible combinar datos espaciales de diversas fuentes de la comunidad de forma coherente y que a su vez sean compatibles entre distintos usuarios y aplicaciones.

Al Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) le corresponde la planificación y gestión de la Infraestructura de la información geográfica de España, así como la normalización de la información geográfica oficial dentro del Sistema Cartográfico Nacional. Y a su vez, también le corresponde la planificación y desarrollo de servicios de valor añadido y de nuevos sistemas y aplicaciones en materia de información geográfica.

A raíz de la incorporación de España en INSPIRE, nace el proyecto IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España). La IDEE tiene por objetivo integrar a través de Internet los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se produce en España, facilitando a todos los usuarios potenciales la localización, identificación selección y acceso a tales recursos, a través del Geoportal de la IDEE<sup>9</sup>, que integra los nodos y geoportales de recursos IDE productores de información geográfica a nivel nacional, regional y local, y con todo tipo de datos y servicios de información geográfica disponibles en España.

La Dirección General del Catastro (DGC) tiene una misión de identificación y censo de la riqueza inmobiliaria, así como la valoración de los bienes de esta naturaleza. El cumplimiento de esta misión contribuye a la eficiencia del sistema fiscal, a lograr un modelo óptimo de seguridad jurídica en relación con el régimen de propiedad y a la productividad de los distintos agentes, públicos o privados, que gestionan el territorio o que precisan de información territorial como parte de sus procesos. Ésta cuenta con información alfanumérica y cartografía catastral correspondiente a todos los bienes inmuebles de su ámbito de competencia.

Por último el Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) es una entidad de derecho público de la Generalitat de Catalunya sometida al ordenamiento jurídico privado de la información geográfica. Desde su creación en el año 1982 realiza las coberturas de imagen métrica aérea del territorio de Catalunya, con sensores activos y pasivos, y mantiene estos sensores y las bases de

---

<sup>9</sup> <http://www.idee.es>

conocimiento y de información necesarias para tratar los datos geográficos y temáticos producidos por teledetección aeroespacial.

El disponer de toda la información territorial es clave para la realización de esta tesis ya que se dispone, en estos momentos y de forma accesible, de las bases de datos actualizadas de la ciudad que apoya este estudio con todo tipo de garantías.

### La información incorporando temas territoriales

El uso más interesante del empleo digital de la información urbana radica en hacer visibles entidades y procesos basados en su identificación tipológica, geométrica, vectorial y relacional, que normalmente no se podría apreciar fácilmente debido a su tamaño. (Decker, 1992) compara este proceso con la apreciación de una cámara de cine para revelar acontecimientos muy lentos o muy rápidos.

La complejidad de la aplicación técnica del análisis y reproducción del entorno urbano en el plano digital es evidente, al tiempo que resulta manifiesto que una vez desarrollada, el proceso de análisis, planificación y toma de decisiones es operativo y eficaz (Skauge, 1995).

Diversos autores (Decker, 1992; Skauge, 1995; Ranzinger y Gleixner, 1997; Michel y Bockmühl, 2006; Pop y Bucksch, 2007; Carneiro *et al.*, 2010), plantean métodos, orientados a distintas aplicaciones dentro del ámbito urbano. Es denominador común, sin embargo, el hecho de la utilización de un SIG a partir del cual se añaden distintos mecanismos de levantamiento de la información tridimensional de la escena urbana (Appleyard, Fotografías, Videos, LIDAR, Láser Scanning, Photogrammetry y otros) acoplados en un modelado de la escena urbana mediante un software de intercambio (3D VRML Scene, Faro Scene, y otros). Esto permite a distintos niveles obtener informaciones y manejarlas con el objetivo de ayudar al gestor urbano.

Las experiencias en la utilización de las herramientas tecnológicas de la información urbana es un aspecto bastante desarrollado en el ámbito de la comunicación, la defensa y el transporte. El ámbito del análisis y planificación de la ciudad ha ido evolucionando de manera constante.

Como se ha explicado anteriormente, el estudio realizado por Mendes da Silva *et al.* (2010) en base a los edificios del casco antiguo de Coimbra (Portugal) incorpora la utilización de un SIG como entorno gestor de la información de las características de vulnerabilidad sísmica y riesgo de la ciudad. Las principales aportaciones radican en la definición de distintas escalas de evaluación: regional, área urbana, bloque, ciudad o edificio singular; y la determinación de diferentes niveles de inspección y registro para un tipo edificio en concreto, la tecnología de construcción y sus características.

También es de interés citar el método planteado por (Gil *et al.*, (2010) en el cual se realiza una aplicación práctica en dos barrios adyacentes de Lisboa, Portugal: la zona denominada PP4 del área ocupada por la Expo 98 y Moscavide. El objetivo de los autores era desarrollar un sistema

de diseño urbano con una ontología urbana que se puede aplicar a la formulación, la generación y evaluación de los planes urbanos. Se trata de una metodología para la migración de datos basados en el SIG del conjunto de datos de los dos barrios, con el fin de identificar las tipologías urbanas generadas por las manzanas y sus calles.

La migración de datos se basa en la clasificación, agrupación y regresión de los mismos, facilitando el descubrimiento de patrones de conducta que sería difícil determinar en los hoy complejos espacios urbanos. La metodología propuesta requiere el uso de elementos vectoriales de SIG que representan las entidades urbanas vinculadas a la información descriptiva como el número de plantas, número de viviendas y uso del suelo. El SIG se utiliza en este caso para realizar operaciones de análisis espacial que implican cálculos geométricos y de red en el mapa axial, así como los datos simples de filtrado y los cálculos matemáticos, para obtener todos los atributos de la información obligatoria. También se utiliza para visualizar los atributos individuales de los bloques y las calles mediante su asignación en el programa, ya que ayuda a la verificación de errores de representación, las inconsistencias en los cálculos y también como un primer paso para familiarizarse con los resultados.

Los autores concretan un sistema capaz de identificar las tipologías del contexto urbano durante la fase de pre-diseño y es útil en la definición de los valores de diseño paramétrico basado en normas. Al hacerlo, se introducen a la naturaleza compleja de múltiples escalas y multinivel de los entornos urbanos que vinculan a los requisitos cualitativos y cuantitativos. El sistema les permite clasificar los elementos de los barrios de acuerdo a múltiples atributos simultáneamente que proporciona un perfil más detallado del carácter de un barrio, lo que facilita la comprensión del contexto del territorio.

En otro orden, el estudio realizado por [Carneiro et al. \(2010\)](#) sobre la Morfología Digital Urbana, presenta un método para calcular las propiedades morfológicas del entorno construido implementando en el SIG los datos LIDAR (*Light Detection and Ranging*) y los datos en tres dimensiones (3D), extraídos a partir de los modelos de las ciudades.

El método fue probado en dos estudios en la región de Ginebra, con características diferentes, uno en el casco antiguo a lo largo del río Ródano (45 edificios) y el otro en el campus del CERN (18 edificios). El análisis estadístico realizado para comparar y validar los resultados de los cálculos con el modelo 3D del entorno construido, se complementó con pruebas de significación estadística y, posteriormente, se demostró la validez del conjunto del sistema.

El análisis llevado a cabo, se caracterizaba por geometrías muy diferentes de los edificios, permitiendo concluir, según los autores, que los métodos se pueden extender a otros casos. También se concluye que el procedimiento de cálculo debe ser elegido de acuerdo con la complejidad del tejido urbano a estudiar ([Carneiro et al., 2010](#)).

Es evidente que el SIG representa una potente herramienta capaz de combinar múltiples datos, permitiendo que se distribuyan adecuadamente dentro del territorio, evidenciando situaciones reales y predictivas. Este hecho, a nuestro entender, justifica la necesidad de su participación en el desarrollo de esta Tesis Doctoral, ya que va a posibilitar la creación de una herramienta que permite relacionar la máxima información para facilitar la posterior gestión en la toma de decisiones estratégicas del frente urbano.





## Capítulo 3

### LABORATORIO URBANO

Existe un debate, en todo el mundo, de cómo ha de ser el modelo de gestión de las ciudades del siglo XXI. Según los últimos datos oficiales de [Un-Habitat \(2016\)](#), “para 2030, dos tercios de la población mundial vivirá” en ellas. Este nuevo paradigma que se suscita engloba propuestas como las expresadas en la edición Smart City Expo World Congress, realizada en Barcelona en noviembre de 2013, en la cual se apuesta sobre el concepto de ciudades inteligentes, basadas en la implementación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), para conseguir mejorar costes derivados de los servicios, reducción del impacto ambiental y elevar la calidad de vida de la ciudadanía. Estos logros se pueden llegar a conseguir gracias a iniciativas como la promovida por varios municipios catalanes, que han creado la aplicación CloudBCN<sup>10</sup>, en la que se comparten datos de forma abierta.

Para alcanzar una correcta difusión de los datos en abierto, de titularidad pública, dentro del contexto de ciudad inteligente, se ha publicado la norma [UNE 178301 \(2015, España\)](#) que regula al organismo del sector público que se integre en la difusión y gestión de la información, para pautar como se han de evaluar los datos y su validez con el fin de alcanzar una mayor calidad y eficiencia hacia una correcta gestión de la ciudad.

Aunque ya se ha argumentado con anterioridad el concepto de Laboratorio Urbano, destacar que éste nace impregnado con la filosofía de transmisión de la información abierta a través de un sistema capaz de contemplar la problemática escalar de la durabilidad del frente urbano, de las

---

<sup>10</sup> <http://opendata.cloudbcn.cat/MULTI/ca>

ciudades, fruto de la obtención de datos y de una metodología de análisis fiable que permita proponer, de forma predictiva, soluciones poblacionales.

Dada la singularidad macroescalar de la investigación, este capítulo y los que siguen se han inspirado de forma reflexiva sobre fundamentos en los que se basan las disciplinas científicas de la epidemiología dentro de la medicina. Sin duda cuando los doctores [López-Moreno et al. \(2000\)](#) definen la evolución de la historia epidemiológica, de la salud, como la ciencia cuyo propósito es describir y explicar los comportamientos de las dinámicas poblacionales, identificando los elementos que las componen y comprender los fenómenos que las provocan, están formulando las bases para llegar a intervenir, de forma efectiva, en el curso del desarrollo natural. El dicho del escocés William Kelvin ([1824-1907](#)), en referencia a que *“la ciencia que no es capaz de medir, siempre será una pobre ciencia”*, nos reafirma en la creencia que, si disponer de la posibilidad de medir es bueno para argumentar las decisiones que se toman, mejor aún es el solo hecho de medir para llegar a respuestas concluyentes.

La ciencia de la construcción está lejos de los avances conseguidos en el campo de la investigación poblacional que se disponen en medicina, ni tan solo existen referentes lingüísticos propios para clasificar este tipo de estudios, sin embargo las problemáticas son similares y se han de poder afrontar con el mismo rigor científico. El no disponer de datos suficientes para establecer redes causales de los sucesos, identificadores contrastados de marcadores poblacionales, descriptores potenciales de afectaciones físicas del elemento, debido a fenómenos medioambientales o evolutivos de la gravedad disfuncional, nos conduce en estos momentos a la necesidad de tener que encontrar respuestas deterministas.

La génesis para un sistema multiescala en el sector de la edificación requiere ser estudiada prefijando y acotando las variables fundamentales que desde los inicios sustenten la capacidad de ser observadas y de actualizar a lo largo del tiempo. Una de las cuestiones importantes a considerar estriba en que el elemento objeto de análisis siempre está ubicado en un enclave fijo del territorio y que tiene una estructura heterogénea de cuya constitución física sólo conocemos las técnicas constructivas empleadas y los materiales utilizados. Bajo esta teoría de partida será objeto de especial atención los vínculos que relacionan a la fachada con el territorio y si son influyentes en la temporalidad de su durabilidad.

Siguiendo con la aproximación de análisis preliminares a la comprensión formal de la fachada, como una entidad del frente urbano y conseguir contextualizar los principales elementos que intervendrán en su inspección, así como, para determinar qué datos son relevantes en un análisis macroescalar, se ha tomado el cañón urbano descrito por [Carrasco \(2010\)](#) como el punto de observación idóneo para establecer patrones de referencia aplicables al territorio y que afecten a la durabilidad. Con ello, se persigue pautar los grados de inferencia provocados por fenómenos climáticos y de contaminación, sobre las fachadas y que afecten de forma directa a las apariciones, o subsiguientes evoluciones, de ciertos estados patológicos.

Los apartados que se desarrollan a continuación van a establecer los entornos y situaciones más frecuentes, que se han considerado esenciales, para analizar dentro de los distintos estudios de supervivencia y que permiten visualizar un sistema viral que mute de una estructura centralizada a una red causal del fenómeno evolutivo de la degradación de los distintos frentes urbanos.

### 3.1. Frente urbano

Pese a que la evolución de la arquitectura ha dado pie a diferencias constructivas sustanciales entre las fachadas, en todas ellas se mantienen unas bases formales, es decir, unos patrones universales a partir de los cuales se diseñan los cerramientos en cada época. Estas bases muestran un esquema de diseño de la fachada que se caracterizan por disponer de un paramento de cierre alineado al vial y elementos en voladizo, como el balcón, tribunas y otros elementos ornamentales.

Autores como [Davies y Jokiniemi \(2008\)](#) ven la necesidad de tener que diferenciar distintas zonas dentro del estudio del comportamiento de una fachada en estado de servicio, en este sentido, y siguiendo dichas sugerencias, se han propuesto unos planos virtuales que han de contener la información descriptiva de aquellos elementos constructivos que configuran la fachada. Para ello se establecen unos planos verticales y horizontales que responden a criterios de uso y situación dentro de una fachada y que determinan un estratificado para la realización de estudios posteriores. En la Figura 3.1 se proponen dos planos conceptuales básicos que van a contener la información de los elementos constructivos existentes y en la Figura 3.2 como dichos planos se van desdoblando y posicionando en función de las zonas de uso, en una fachada de índole residencial, generando en altura tres entornos funcionales.

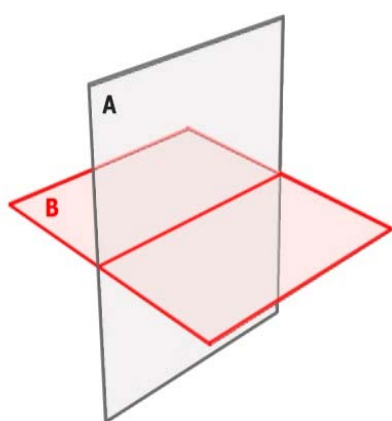


Figura 3.1 Esquema de planos básicos

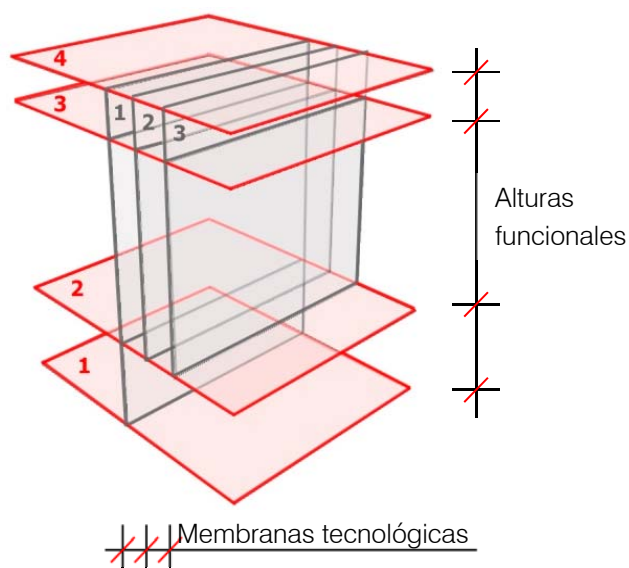


Figura 3.2 Distribución de planos en función de las divisiones funcionales

El modelo diseñado contempla la posibilidad de una estratificación que asuma la heterogeneidad de los elementos constructivos presentes en una fachada genérica. Asimismo las membranas tecnológicas permitirán posicionar las evidencias de la pérdida de durabilidad, facilitando la disección de distintos comportamientos de un sistema constructivo frente a sí mismo por efectos de situación y uso dentro de la misma fachada.

Este enfoque situado dentro del concepto de cañón urbano formalizara la estructura morfológica de los distintos frentes urbanos, centro de nuestro interés, ordenando las zonas de observación y facilitando la clasificación del estado de degradación de los elementos de las fachadas. En la Figura 3.3 se representa la alternativa interpretativa de una posible visión real del frente urbano al conceptual para su análisis fragmentado.

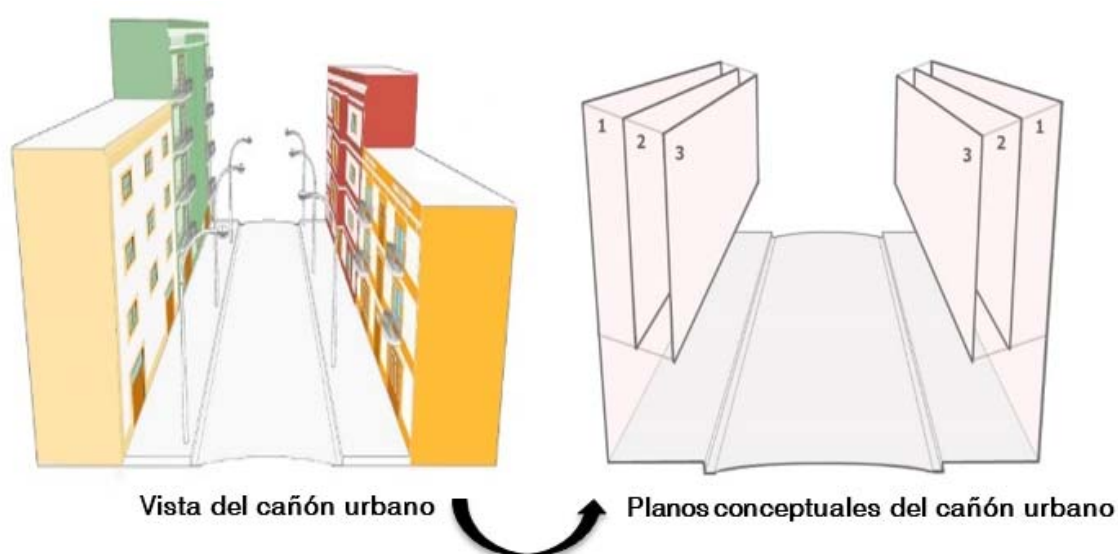


Figura 3.3 Estratificación de planos arquitectónicos a planos conceptuales

En cada uno de los planos conceptuales propuestos se le asignara aquellos parámetros arquitectónicos más comunes y las tecnologías constructivas habituales dentro del proceso edificatorio de la fachada. El primero de ellos contendrá el cerramiento del edificio, que se halla alineado al vial y en los otros dos aquellos elementos que sobresalen e invaden una parte del espacio público, englobando los balcones en el segundo plano y las tribunas en el último de ellos. En la Figura 3.4 se distinguen y posicionan los elementos que se consideran en cada uno de los planos descritos.

Este tipo de distribución que *a priori* puede parecer un tanto genérica, en realidad permite una descripción válida para cualquier tipo de fachada, con independencia de la época en la que se haya construido, de su tecnología constructiva y de la ciudad en la que se encuentre ubicada.

Para progresar en la clasificación conceptual y desarrollar el subsistema de cerramiento de fachada, que configuran mayoritariamente el frente urbano de la ciudad, en los apartados que siguen, se referencian las tipologías constructivas más habituales y que se tomaran como pauta.

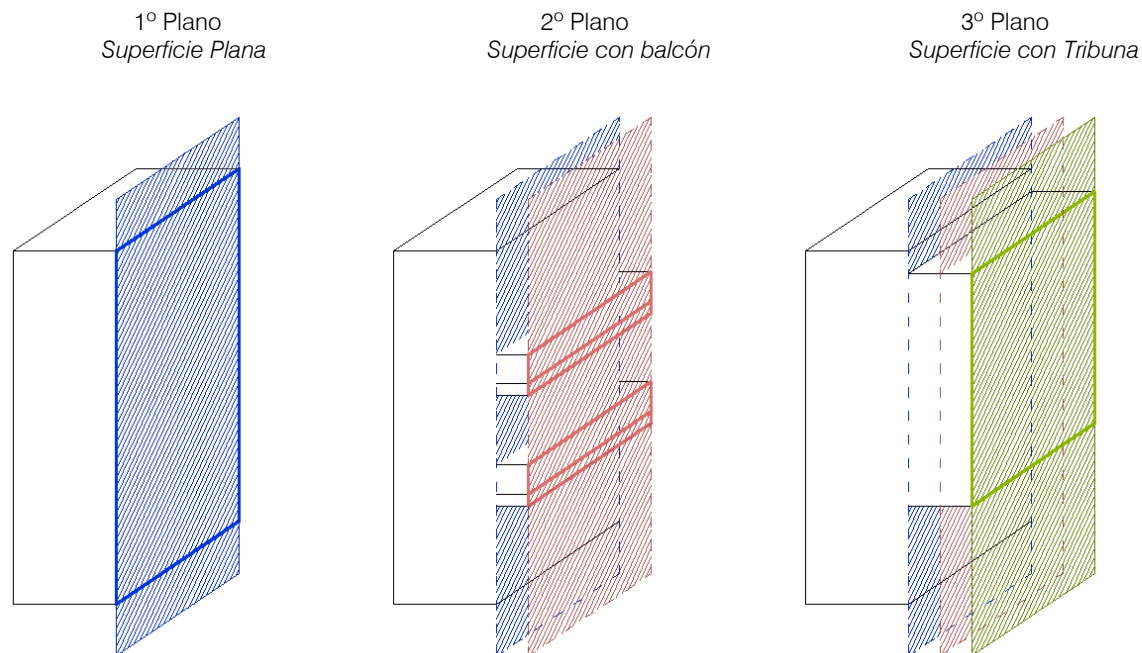


Figura 3.4 Representación de los planos de fachada

### 3.1.1. Tipología de fachadas

La clasificación de tipologías que se propone en este apartado no pretende alcanzar una investigación científica exhaustiva y personalizada de cada fachada, ya que ello se desvía del objetivo final de esta investigación. A pesar de ello, si se recogen enfoques como los que establece [Trovato \(2007\)](#) cuando define la fachada como una parte con cierta autonomía del edificio y sensible a múltiples apariencias.

Dentro de los sistemas constructivos existentes, la implicación del cerramiento exterior puede clasificarse como un elemento que forma parte de la estructura del edificio o que se halla exenta de la misma. Estas diferencias en construcciones habituales de fábrica pueden ser difíciles de observar, ya que dependen del sentido de la vigería del forjado y de si está apoyada o no sobre el muro de cierre. Así pues, el estudio sólo diferenciará dos tipos de cerramiento, el que se halla empotrado entre los cantos de forjado y el que se encuentra exento del mismo. Esta circunstancia nos permite distinguir aquellos paramentos de tipo discontinuo entre plantas de los que forman un envolvente con ciertos grados de libertad. En la Figura 3.5 se muestra el concepto de muro sustentante o de cierre con sus discontinuidades, y en la Figura 3.6 el de muro exento autoportante o sustentados por la estructura con vínculos de menos rigidez que las anteriores.

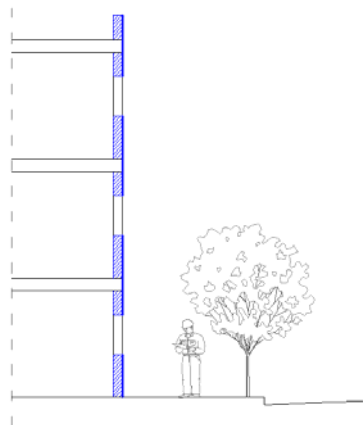


Figura 3.5 Sistema discontinuo

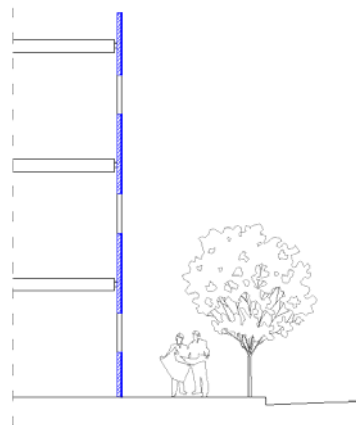


Figura 3.6 Sistema continuo

Se plantea pues que cualquier tipo de fachada se va a regir por estos estados funcionales, dentro del conjunto del edificio y que pueden definir subgrupos de estudio.

Otra consideración que se va a imponer, consiste en la composición arquitectónica de la fachada, para poder agrupar durante su observación sus distintas disfunciones en cada elemento representativo. A continuación se describen las categorías de fachadas y sus singularidades formales.

### Fachada plana

Queda definida por el paramento, continuo o discontinuo, alineado al vial en el que se va a analizar la parte maciza de la fachada y donde se concentran las disfunciones, a través de las lesiones, que nos interesa identificar. Recalcar que el hecho de no atender a las zonas no macizas o ciertas singularidades de acabados del paramento se debe a su facilidad de reposición a lo largo de su vida útil y por tanto, con una menor incidencia de responsabilidad funcional dentro del propio paramento. En la Figura 3.7 se representa, tanto en alzado como en sección, el paramento que va a ser objeto de evaluación.

### Fachada con balcón

En este segundo caso, a semejanza del anterior, se analiza el paramento alineado al vial y el que sobresale del plano de la fachada formando el balcón. Su configuración queda constituida habitualmente por la proyección del forjado hacia el exterior, en situación de voladizo y cuya protección perimetral la forma la barandilla.



Figura 3.7 Fachada plana

El nuevo elemento arquitectónico definido por el balcón es una fuente de información significativa, ya que nos permite observar una parte estructural formada por la losa del forjado, y otros tipos de cerramiento formado por la barandilla de protección del espacio. Obsérvese en la Figura 3.8 como cada uno de los balcones es un elemento totalmente independiente del resto de elementos de sus mismas características y por tanto en ningún caso podrá diferir disfunciones propias al resto.



Figura 3.8 Fachada con balcón

### Fachada con tribuna

En una fachada, diferencia del balcón, la tribuna se caracteriza por ser un voladizo cerrado y cubierto que sobresale del cerramiento alineado a vial, formada por losas y paramentos. En este caso es importante resaltar que los forjados se encuentran conectados por el paramento y por tanto a través de ellos pueden diferir disfunciones. Esta situación, de producirse, será mucho más representativa en el forjado inferior ya que podría sufrir un efecto multiplicador de causas de lesión.

Para este tipo de paramento se va a considerar los mismos condicionantes que concurren en el caso de las fachadas planas. En la Figura 3.9 se pueden observar el elemento de la fachada que se analizará.



Figura 3.9 Fachada con tribuna

### Fachada mixta

La última tipología de fachada es la que considera la presencia de los tres elementos característicos de las anteriores fachadas y por tanto se encuentra compuesta por el paramento alineado a vial, el balcón como un elemento en voladizo desvinculado del resto de balcones y la tribuna como un cuerpo, también en voladizo, compacto y de características similares a las del paramento. En la Figura 3.10 se representa una posible combinación de los tres elementos descritos.



Figura 3.10 Fachada mixta



A partir de la descripción y posibilidades formales de las distintas membranas tecnológicas establecidas junto a los elementos básicos construidos que configuran una fachada, estos se deben fragmentar por zonas que contengan los distintos usos funcionales de la fachada.

### 3.1.2. Zonas de clasificación en altura

Con independencia de la forma, dimensiones, volumetría y estilo arquitectónico, en toda fachada se puede diferenciar tres zonas. Autores como Santos *et al.* (2011) las definen considerando la base de la fachada o zona inferior, como la parte del cerramiento en contacto directo con el nivel del terreno, siendo la zona con mayor exposición al impacto ciudadano, seguida de la zona intermedia, donde existen tramos macizos con aberturas y elementos salientes, tipo balcón y/o tribunas, sometida a acciones medioambientales y del usuario, y finalmente, la zona superior que engloba la parte de la coronación del edificio, con presencia de una mayor incidencia de los ciclos de sol, viento y lluvia. En la Figura 3.11 se identifican dichas partes, extrapolables en cada uno de los modelos descritos anteriormente en la Sección 3.1.1.

Las zonas son coincidentes con las que han quedado referenciadas en la Figura 3.2, entre los planos 1 y 2 para la zona inferior de uso predominantemente comercial, entre los planos 2 y 3 como zona intermedia de uso destinado a vivienda y entre los planos 3 y 4 la zona superior de remate del edificio con un uso meramente comunitario.

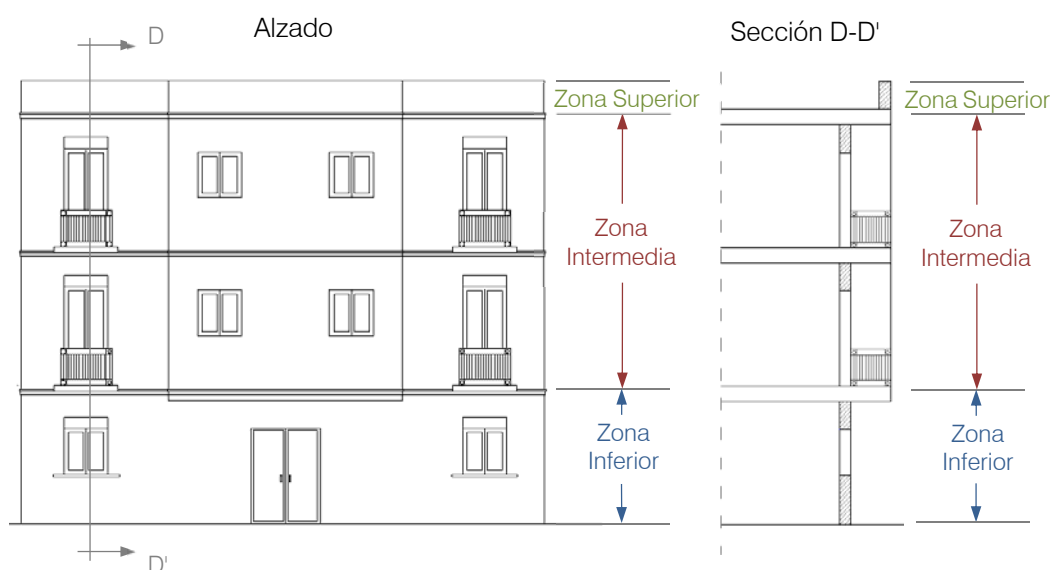


Figura 3.11 Zonas de una fachada mixta

Sin embargo, las zonas de la fachada que se han definido pueden verse condicionadas por la altura de la misma y mostrar diferencias significativas de durabilidad en la zona intermedia, circunstancia que obligaría, en ciudades en las que predomine la esbeltez (edificios con alturas mayores a 100m), a reconsiderar esta situación, tomando dichos edificios como especiales. En la Tabla 3.1 se establece la tipología de edificio en función de su altura.

Altura del edificio	Tipología de edificio
$h > 100 \text{ m}$	Especial
$30 \text{ m} < h \leq 100 \text{ m}$	Alto
$10 \text{ m} < h \leq 30 \text{ m}$	Medio
$h \leq 10 \text{ m}$	Bajo

*Tabla 3.1 Tipología de edificio según su altura*

Todas las particularidades formales que se han establecido, dentro del estudio del elemento unitario de la fachada, son trasladables a los frentes urbanos al que pertenecen ya que estos no dejan de ser un fiel reflejo de la acumulación de los elementos que los conforman.

### 3.2. Espacio urbano

Los contornos del espacio urbano vacío de las ciudades vienen delimitados por la configuración física de la red viaria, la proyección de dos frentes de fachadas distanciadas entre sí por el ancho de la vía, en sus caras verticales y por una parte superior abierta a los fenómenos naturales de la zona. Esta última circunstancia aporta un principio relevante en la discusión de la durabilidad por causas de los fenómenos medioambientales que acaecen dentro del cañón urbano. Los estudios de [Yáñez \(1988\)](#) señalan la problemática que puede llegar a generar la incidencia del sol y otros agentes atmosféricos sobre las fachadas de los edificios, según el ancho de la calle en relación a la altura de las fachadas dentro del casco urbano y que ello, en función del tipo de clima predominante, puede ser representativo para definir la durabilidad en las fachadas.

El enfoque de nuestra investigación toma como referente cualquier espacio urbano, para este fin autores como [Munizaga \(1997\)](#) analizan el impacto de los fenómenos medioambientales en función de los límites de la superficie del territorio producto de su crecimiento urbanístico, generado en cada ciudad según su forma, densidad, tamaño y usos. Sin embargo en nuestro caso, este fenómeno se desea analizar, a pesar de su heterogeneidad, desde el tejido definido por sus calles y al conjunto del cañón urbano descritos por [Carrasco \(2010\)](#). Desde esta perspectiva se puede observar el elemento de verdadero interés de esta Tesis Doctoral que no es otro que la parte del espacio urbano delimitado por los frentes de las fachadas de los edificios.

Previo a las consecuencias inherentes de vulnerabilidad medioambiental, sobre los elementos de fachada, es preciso introducir una jerarquización entre la relación del ancho y la altura del frente urbano ya que va a ser un factor determinante para establecer los niveles de exposición en los distintos tramos viarios.

### 3.2.1. Proporciones viarias

En las tramas viarias aparecen con cierta habitualidad a lo largo de su recorrido longitudinal anchos de vía diferentes, aunque se intenta evitar mediante regulaciones de planes urbanísticos, esta situación en ciudades en las que ha existido un crecimiento desordenado aún es recurrente. Así, se encuentran estas variaciones en las calles estrechas de los centros históricos, las grandes avenidas que atraviesan la ciudad, las carreteras que conectan las zonas de la periferia con la urbana o los paseos de las ciudades modernas.

Por consiguiente, y en virtud de los fenómenos tanto climáticos como de contaminación que se van a producir en el interior de dos planos edificados, se relacionan las longitudes y anchos viarios sin considerar cruces para definir el tramo. En la Figura 3.12 y en la Tabla 3.2 se establecen las relaciones entre la longitud ( $l$ ) y el ancho de la calzada ( $a$ ), y el grado de impacto correspondiente. Obsérvese que cuando la razón entre la anchura y la longitud sea mayor, el grado de impacto en el interior de la calzada será mayor, mientras que cuanto más cercanas sean las medidas, el grado de afectación medioambiental va decreciendo.

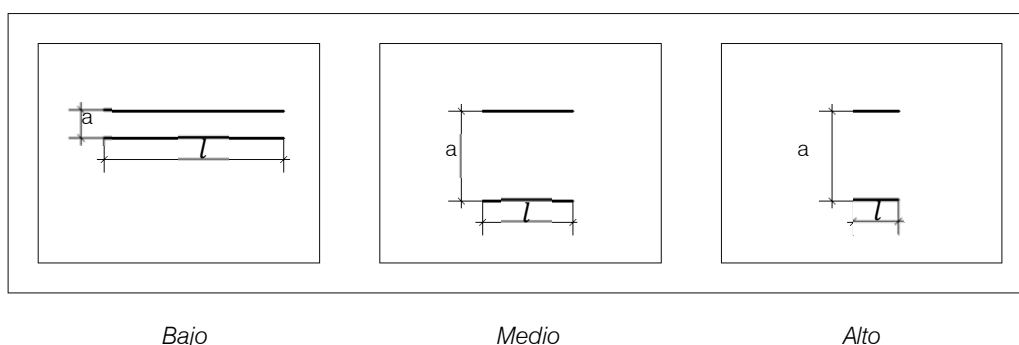


Figura 3.12 Relación de la calzada entre el ancho y su longitud del tramo viario

Ancho y longitud	Grado de impacto
$a > l$	Alto
$a = l$	Medio
$a < l$	Bajo

Tabla 3.2 Grado de impacto medioambiental de la calzada

Sin embargo ha sido preciso buscar una pauta más directa y próxima al concepto de cañón urbano, que se ha tomado como referencia dentro de la investigación, para relacionar el fenómeno físico que vincule la vía con el frente urbano de las fachadas. Para ello nos hemos apoyado en la guía propuesta por [Yáñez \(1988\)](#), que relaciona el ancho ( $W$ ) de la vía pública con las alturas de las fachadas de los edificios ( $H$ ) y como en función de estas proporciones se generan diferencias de exposición en las fachadas creando variables de comportamiento frente a la degradación en las fachadas. En la Figura 3.13 se ilustra esquemáticamente la sección hipotética entre el ancho

(W) y la altura de la fachada (H). En la Tabla 3.3 se establecen las proporciones de equivalencia y los grados de impacto sobre la envolvente del cañón urbano para la mayoría de los fenómenos medioambientales.

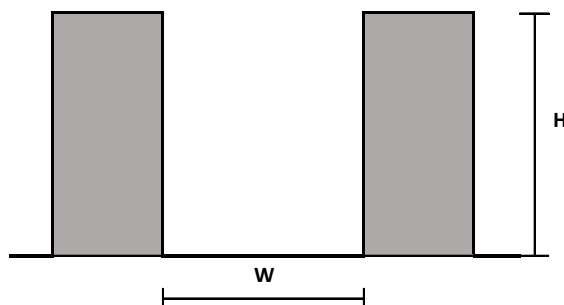


Figura 3.13 Sección esquemática del cañón urbano

Proporciones	Grado de Impacto
$H/W < 0,9$	Alto
$0,9 \leq H/W \leq 1,1$	Medio
$H/W > 1,1$	Bajo

Tabla 3.3 Proporciones del cañón urbano y grado de impacto

Esta relación va a influir decisivamente en todas las condiciones que se han establecido en el estudio, de los parámetros medioambientales y como las proporciones ajustadas más menos un 10%, en las relaciones del ancho del vial con las alturas de las fachadas, pueden influir en los indicadores de durabilidad en la vida útil de las fachadas urbanas.

### 3.3. Entorno medioambiental urbano

Para el fenómeno de los microclimas urbanos que se generan en las ciudades, existe la teoría de [Olgay \(2002\)](#) que comprende el clima como una condición uniforme distribuida sobre una gran área, basándose, en parte, en que los datos se recogen en aquellos lugares donde prevalecen condiciones climatológicas estables. Sin embargo, a nivel urbano existen, uno junto a otro, numerosos microclimas que varían sustancialmente al elevarse unos cuantos metros y distanciarse unos pocos kilómetros entre sí. Por ello, se establece que los efectos comprendidos dentro de la gran escala macroclimática forman unos modelos de pequeña escala o microclima. Así es que, el comportamiento del clima a nivel de suelo se crea a partir de las variaciones climáticas formadas por las características del entorno más cercano.

El microclima urbano se desarrolla horizontalmente entre los 100 y 200 m a nivel de calles, patios, plazas y edificios circundantes, donde la temperatura del aire cambia en varios grados en distancias cortas, el viento dominante varía a partir de los obstáculos presentes en la ciudad y las

precipitaciones generan patologías en las superficies de los materiales. No obstante, dentro de los esquemas climático-urbanos se encuentran otras escalas de clima, tanto a nivel horizontal como vertical, tales como: mesoclima o mesoescala y la escala local.

A diferencia de lo anterior, la mesoescala se caracteriza por desarrollarse en un tamaño de 10 a 20 km, y que considera el margen del borde del espacio urbano, es decir, se refiere a una escala a nivel de toda la ciudad. Con ella, se puede tener una comprensión completa de la estructura urbana y los fenómenos que se generan dentro de la misma. Por otro lado, a una escala de entre los 1000 a 2000 m tiene lugar la escala local, donde determina entre otros fenómenos, flujos verticales de movimiento del aire y comportamientos zonales de radiación, temperatura y humedad. En la Figura 3.14 se señala las variaciones del comportamiento del clima de la ciudad tanto a escala horizontal como vertical.

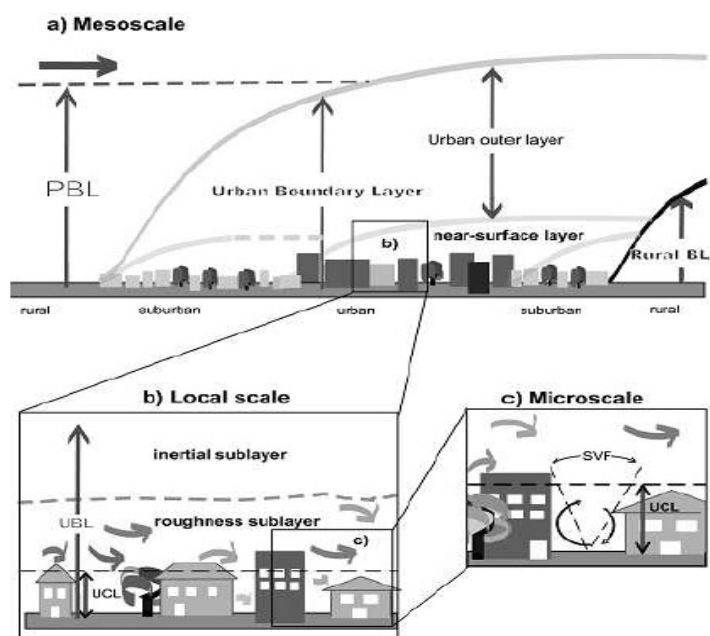


Figura 3.14 Escalas urbanas (Carrasco, 2010)

La consideración de los valores de cada uno de los agentes, que inciden directamente sobre los paramentos de la fachada, se analizan a continuación y a título individual para determinar su grado de impacto cualitativo, buscando una homogeneidad entre ellos, con el fin de comprobar si del estudio analítico de la vida útil de los elementos observados en las fachadas surgen desviaciones de comportamiento que puedan ser explicadas por razones de su situación geográfica. En el Anejo C, se analizarán las características generales de los agentes medioambientales (la radiación solar, la lluvia y el viento) y contaminantes atmosféricos (el dióxido de carbono), que han servido de base para las síntesis de estos apartados de la Tesis Doctoral, dando mayor importancia a aquellos aspectos que influyen directamente en la durabilidad de los elementos de obra de las fachadas.

### 3.3.1. Radiación solar

A partir del recorrido que realiza el sol sobre la bóveda celeste, se puede determinar la incidencia de la radiación solar sobre las fachadas urbanas. Como es conocido, el sol sale por el este y desaparece por el oeste pasando por el sur en el hemisferio Norte, lo que provoca que la superficie solar irradiada sobre cualquier paramento varíe dependiendo de su orientación. Es [Higueras \(2006\)](#) quien señala que el recorrido que el sol proyecta sobre las fachadas y los espacios urbanos introduce diferencias significativas de toda índole; en este sentido la observación de las consecuencias que se generan en las fachadas a partir de su situación, basada en la rosa de orientación, va a establecer uno de los fenómenos a considerar dentro de la vida útil de servicio de cualquier elemento constructivo. En la Figura 3.15 se representan los cuatro arcos solares y sus principales diferencias dentro de la rosa de orientación solar.

- **Arco solar 1** es la zona de máximo soleamiento tanto en invierno como en verano, ya que comprende todo el recorrido solar por el sur donde el sol llega a su máxima altura, desde  $69^\circ$  SE hasta  $45^\circ$  SO.
- **Arco solar 2** es la zona en la que el sol no calienta en invierno, pero sí todas las tardes durante la primavera y el verano. Abarca las orientaciones que van desde  $45^\circ$  SO a  $120^\circ$  NO.
- **Arco solar 3** es el área sin radiación solar directa y con una radiación difusa durante todo el año. Corresponde a los acimuts desde  $120^\circ$  NO hasta los  $120^\circ$  NE.
- **Arco solar 4** es la orientación que abarca desde  $69^\circ$  SE a  $120^\circ$  NE, donde la radiación solar en invierno es nula, media en primavera y otoño, y elevada por la mañana en los meses de verano.

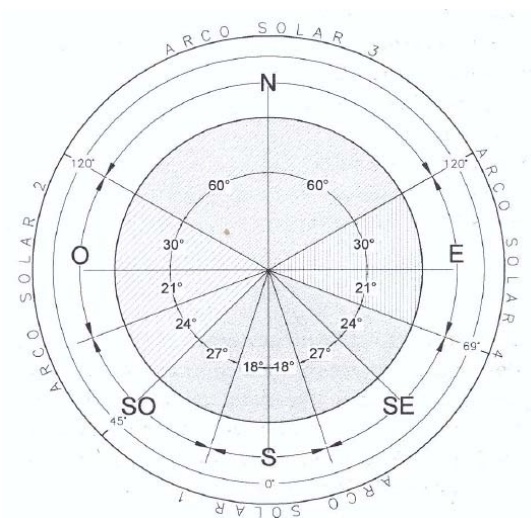


Figura 3.15 Rosa de las orientaciones ([Higueras, 2006](#))

Considerando que las orientaciones quedan prefijadas por la ubicación de la red viaria dentro de una ciudad, podríamos afirmar que toda fachada situada en una calle orientada al este y al oeste va a recibir radiación solar por la mañana o por la tarde respectivamente, no siendo así en las franjas horarias del mediodía que circunstancialmente coincide con un mayor calentamiento de los rayos solares. Sin duda esta situación sería la más recomendable desde un punto de vista de diseño ya que garantiza el acceso solar a todas las edificaciones y un descenso de éste en verano debido a su menor inclinación. Situación distinta es la que se produce en las fachadas cuyas directrices se sitúen orientadas al norte, cuya radiación es nula, o al sur que se verán sometidas, durante gran parte del día, a impactos solares mucho mayores.

Las investigaciones de Carrasco (2010) mencionan dos circunstancias a tener presentes sobre la irradiación solar, la primera de ellas se refiere a que *"dependiendo de la latitud de emplazamiento y momento del día, las fachadas opuestas en una calle de dirección oriente poniente, pueden llegar a tener una gran diferencia de temperatura por recibir o no radiación solar directa"* mientras que la segunda matiza que *"a nivel de plantas inferiores existir diferencias de temperatura menores que en los niveles altos"*. Es por ello que según la variabilidad de la temperatura de radiación esta investigación se plantea incorporar, además, tres zonas de impacto diferentes para una misma fachada, donde la parte inferior será la menos afectada por el sol, la intermedia se verá afectada con incidencias moderadas mientras que la superior sería la más perturbada.

A pesar de ser evidente que en un análisis exhaustivo de los gradientes y efectos térmicos que produce la huella solar, sobre los paramentos de fachada a lo largo del tiempo, requieren interpretaciones particularizadas, en nuestro caso se van a sintetizar los efectos para adaptarlos a un estudio marcadamente poblacional. Para ello se toman las orientaciones elaboradas por Higuera (2006), para disponer de parámetros más generalistas, válidos para el estudio, basados en los grados de impacto sujetos a la orientación y la incidencia de los rayos del sol. En la Tabla 3.4 se muestran los niveles de exposición a los que estarían sometidos los elementos arquitectónicos en función de su situación.

Orientaciones	Grado de impacto
Sur	Alto
Este y Oeste	Medio
Norte	Bajo

Tabla 3.4 Orientaciones y grado de impacto

A estos principios se le ha de añadir la morfología arquitectónica que relaciona el vial con sus frentes urbanos y que a la vez proporcionan otros grados de impacto debido a la permeabilidad o accesibilidad de penetración de los rayos solares. Siguiendo con las indicaciones que nos marcan los estudios de Yáñez (1988), sobre la repercusión de la presencia del efecto pantalla entre los edificios, por razones de la inclinación de los rayos solares, con independencia de la

temperatura alcanzada por la orientación. En la Tabla 3.5 se marcan las pautas particulares para el impacto solar que se van a considerar con variables de más menos un 10% entre la altura y anchura de la calle analizada.

Proporciones	Grado de Impacto
$H/W < 0,9$	Alto
$0,9 \leq H/W \leq 1,1$	Medio
$H/W > 1,1$	Bajo

Tabla 3.5 Proporciones del cañón urbano y grado de impacto solar

A pesar que los resultados cualitativos establecidos en base a las proporciones del espacio urbano son aplicables a cualquier frente urbano, afectando por igual a todas las fachadas que se hallen expuestas a una u otra orientación, el paramento de cierre también se verá sometido en altura a una variación térmica equivalente. Este fenómeno queda reflejado en la Figura 3.16 donde se representa una distribución orientativa de las tres zonas de temperatura, provocada por el sol, sobre una fachada plana sin sombras. Obsérvese como este hecho mantiene una cierta similitud con la distribución por zonas de uso que se ha determinado con anterioridad para cada fachada.

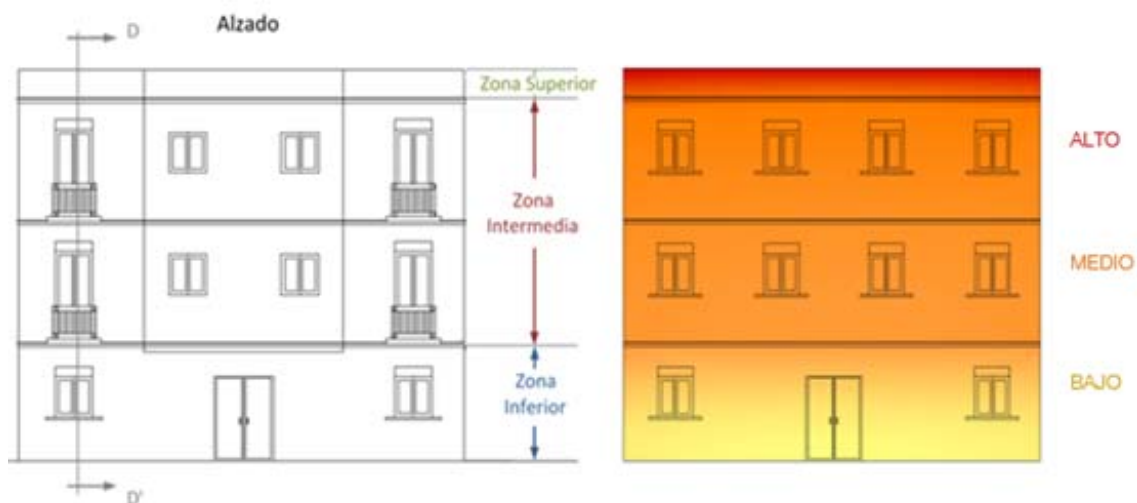


Figura 3.16 Variación de la temperatura

### 3.3.2. Circulación del viento

Otro fenómeno de interés, dentro del cañón urbano, consiste en las causas que se suscitan a través del comportamiento del viento en su interior, según su dirección, sobre los frentes urbanos. Estas circunstancias son tomadas en consideración a partir de los estudios realizados por Carrasco (2010), que nos muestran como en los casos que la dirección del viento es perpendicular a la vía y en función de la separación entre los anchos de la calle y de la altura de



la fachada, el aire tiende a comportarse según formas diferentes y con ello a provocar sobre los materiales existentes en las fachadas un desgaste acorde con la erosión derivada.

Una circunstancia que se suele dar en las ciudades, viene producida cuando el cañón urbano tiene una baja densidad, es decir, cuando la altura de la fachada (H) es sensiblemente menor que el ancho de la vía (W), donde es habitual que se produzcan turbulencias internas aisladas. En la Figura 3.17 se puede observar un esquema de dicho fenómeno y donde el autor, para estos casos, establece que la relación que se ha de cumplir para evitar turbulencia ha de ser  $H/W < 1/3$ .

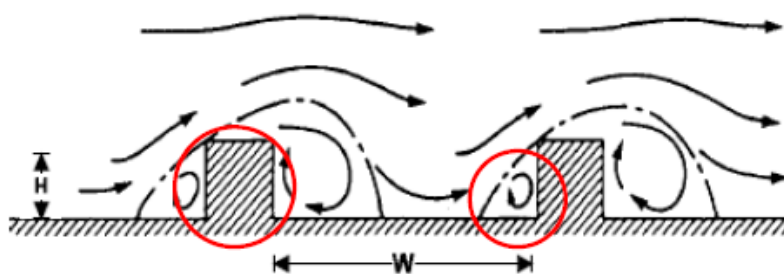


Figura 3.17 Turbulencias aisladas (Oke, 1988)

Cuando los tramos viarios de la zona urbana son de media densidad y donde la altura de las edificaciones sea igual o mayor al ancho de la calle, se pueden producir interferencias debidas a turbulencias opuestas. La Figura 3.18 muestra el fenómeno que se va a llevar a cabo siempre que la relación entre ambos parámetros sea del tipo  $0,5 \leq H/W \leq 1$ .

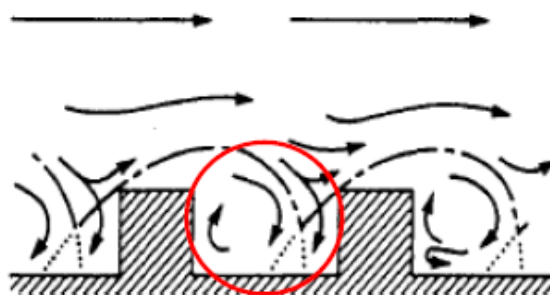


Figura 3.18 Turbulencias opuestas (Oke, 1988)

Y por último en el supuesto que la densidad fuese media-alta o alta y donde la altura de las fachadas sea igual o mayor que al ancho de la vía, se genera un sólo movimiento turbulento en el interior de los dos frentes urbanos. En la Figura 3.19 se señalan los flujos del viento que se van a producir en base a una relación  $1 \leq H/W$ .

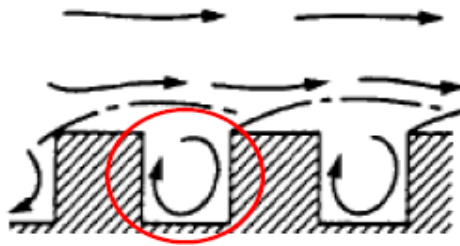


Figura 3.19 Turbulencias interiores (Oke, 1988)

En síntesis se considerará que cuando la dirección del viento sea paralela u oblicua respecto al cañón urbano, éste redireccionará el aire de acuerdo a la continuidad y la longitud de su sección. Así pues, cuando el ancho de la vía sea mayor que la altura del edificio, el viento circulará con menor velocidad y se producirán menores turbulencias. Mientras que si el ancho de la calle es menor que la altura de las fachadas, el movimiento del aire tendrá una mayor velocidad y un elevado porcentaje de turbulencias.

Bajo estas circunstancias generales extraídas de Carrasco (2010) sobre la variabilidad de la circulación del aire dependiendo de la relación entre las proporciones existentes en el cañón urbano, se ha creado una correspondencia que permita clasificar las vías expuestas a condiciones de turbulencias de magnitudes distintas. En la Tabla 3.6 se establecen los límites estimados de impacto por turbulencias, sobre las fachadas, provocadas por el viento, atendiendo a las singularidades de muestras irregulares que se producen entre fachadas opuestas, y en el marco de un estudio a macroescala. La investigación cree oportuno mantener las variables de clasificación dentro de un rango del 10%.

Proporciones	Grado de Turbulencias
$H/W < 0,9$	Bajo
$0,9 \leq H/W \leq 1,1$	Medio
$H/W > 1,1$	Alto

Tabla 3.6 Proporciones del cañón urbano y turbulencias

Insistimos que esta particularidad también es habitual que se produzca sobre la superficie de la fachada, donde el aire impacta con mayor fuerza en la parte superior y desciende en las más bajas por la presencia de elementos urbanos. En la Figura 3.20 al igual que en el caso del sol, se ha diferenciado en la fachada tres tramos, donde cada uno refleja un grado de impacto del viento según su altura.

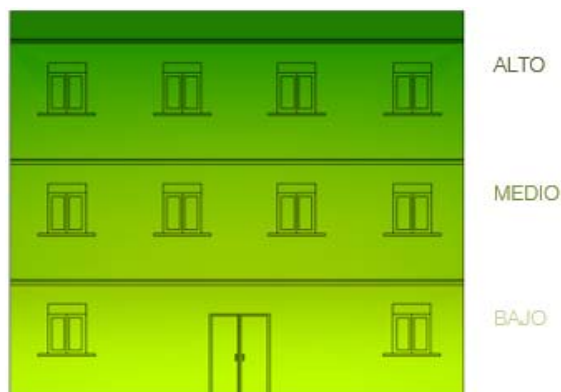


Figura 3.20 Variación del impacto del viento

### 3.3.3. Lluvia conducente

La lluvia conducida o lluvia conducida por el viento es aquella que se desplaza a partir de la velocidad del viento y que cae sobre las fachadas en forma oblicua. Para Vallejo (1990) es posible determinar la intensidad de las gotas de lluvia sobre los paramentos de las fachadas de los edificios considerando que se va a producir una mayor afluencia de lluvia sobre las partes altas de los edificios, con independencia de la velocidad del viento, mientras que las zonas bajas están expuestas a una menor incidencia. En la zona intermedia se ha de considerar una acumulación simultánea de agua de lluvia y de la que proviene de la escorrentía del propio paramento una vez éste se halla saturado. En Figura 3.21 se observa un gráfico de la distribución de lluvia intensa y débil dependiendo de la altura de la fachada.

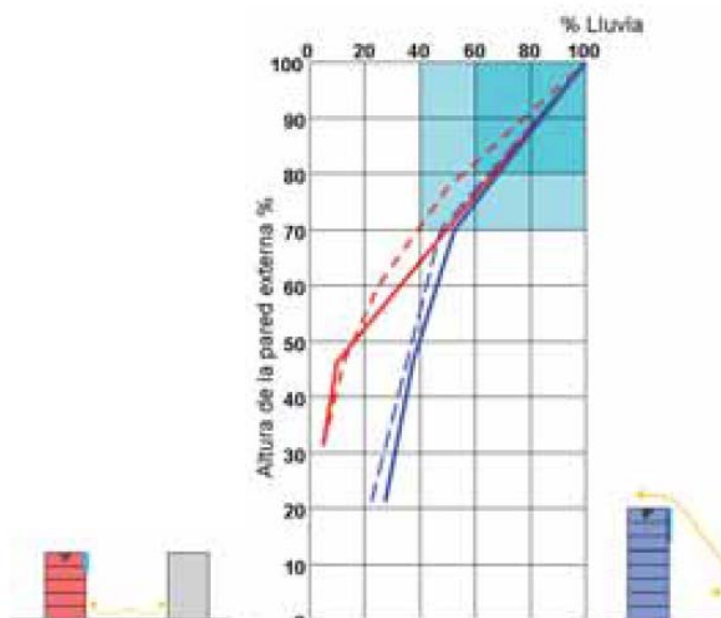


Figura 3.21 Distribución de la lluvia intensa y débil (Beijer, 1980)

Fundamentándonos en el comportamiento que sigue la lluvia sobre las fachadas según las proporciones del cañón urbano, se opta por seguir el mismo criterio que en el caso anterior, donde si el ancho de la vía supera sensiblemente la altura de la fachada el impacto de la lluvia será superior que en el caso opuesto y consideraremos un grado medio cuando exista similitud entre las dos medidas. En la Tabla 3.7 se resume estos conceptos relacionados.

Proporciones	Grado de impacto
$H/W < 0,9$	Alto
$0,9 \leq H/W \leq 1,1$	Medio
$H/W > 1,1$	Bajo

Tabla 3.7 Proporciones del cañón urbano e impacto de la lluvia

Recogiendo y adaptando las tesis del estudio de [Vallejo \(1990\)](#) sobre el impacto de las gotas de lluvia sobre las fachadas, con independencia de la relación existente entre el ancho de la calle y la altura de las fachadas, se puede sostener que en todos los casos se diferencian tres franjas distintas para un mismo paramento, donde la parte superior sigue siendo la más afectada por la lluvia, la intermedia concentrará una cantidad de agua más moderada a pesar de posibles escorrentías y en la zona inferior existirá un impacto de menor repercusión. En la Figura 3.22 representa las tres zonas de la fachada donde el agua choca con diferente intensidad.

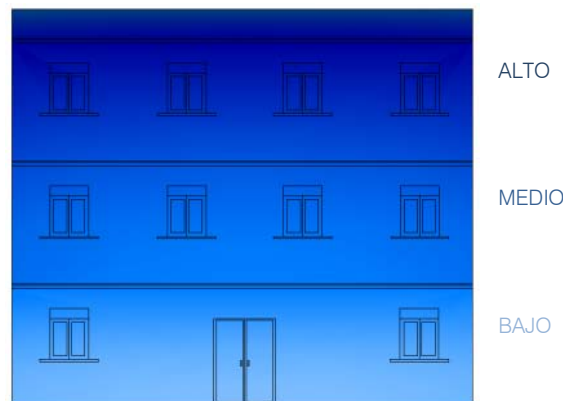


Figura 3.22 Variación de la incidencia de la lluvia

### 3.3.4. Contaminación Atmosférica

La principal causa de la acumulación de gases contaminantes en el interior del cañón urbano, independientemente de sus proporciones, se produce debido a las emisiones generadas por los vehículos y por el intercambio de sustancias entre el cañón y su entorno. Normalmente, las partículas contaminantes se ven dispersadas a lo largo de la calle debido a la velocidad y

dirección del viento, a la altura de los edificios, al ancho de la vía o a la orientación de la fachada. Es evidente que existe una correlación entre los fenómenos climáticos y los contaminantes atmosféricos que de forma particular afectan a una fachada en concreto, sin embargo este planteamiento busca aquellas referencias que nos permitan ver ciertas diferencias de comportamiento del patrón de análisis que surja de las inspecciones. En la Figura 3.23 se reseñan los tipos de estrés a los que se ven sometidos los gases contaminantes dentro de un espacio confinado por las fachadas de los edificios.

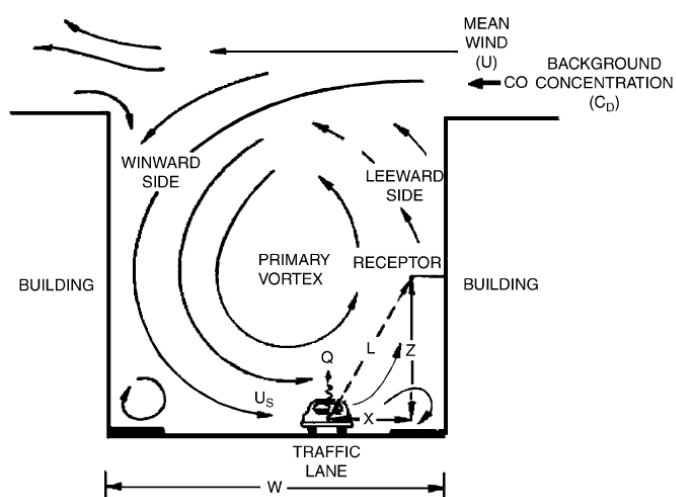


Figura 3.23 Dispersión de contaminantes en un cañón urbano (Dabberdt et al., 1973)

En este sentido y buscando una relación de conectividad con los fenómenos climáticos anteriores, autores como Vardoulakis et al. (2002) recalcan que para flujos de vientos perpendiculares, las condiciones de dispersión de los contaminantes resultan mayores y por lo tanto dispondremos de menores concentraciones de éstos, mientras que unos vientos paralelos serán proclives a la acumulación de los gases y donde las emisiones a lo largo del cañón inciden más que las turbulencias generadas por el propio viento.

En la Tabla 3.8 se muestra como cuanto más baja sea la velocidad del viento mayores serán las concentraciones de los contaminantes en las fachadas.

Velocidad del viento (m/seg)	Contaminación máxima diaria ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
0-2	380
2-4	320-340
4-6	200-240
6-8	160-200
8-10	120-160
10-12	40-80

*Tabla 3.8 Relación entre velocidad del viento y la contaminación diaria máxima de acidez fuerte (Vallejo, 1990)*

Generalmente, para un viento con dirección perpendicular al cañón y con una velocidad media o media-alta, se formarán dos bandos diferentes de acumulación de las sustancias contaminantes. El frente del tramo urbano que esté resguardado del viento (sotavento) tendrá una mayor concentración de gases, mientras que el lado expuesto a la acción del aire (barlovento) no se verá tan influenciado por los mismos. En consecuencia la dispersión de contaminantes puede ser vista bajo diferentes escenarios como los que plantea Oke (1988) clasificando los patrones de flujo dependiendo de la relación existente entre la altura de los edificios (H) y el ancho (W) de la calle y estableciendo tres regímenes de flujo. En la Figura 3.24 se recrean tres situaciones combinadas entre las proporciones del cañón urbano y la velocidad del viento.

Se puede llegar a la conclusión que para vientos perpendiculares, las acumulaciones sobre el paramento del frente urbano serán menores que en la situación de vientos paralelos, donde, cuanto más baja sea la velocidad del viento, mayores serán las concentraciones. Manteniendo el criterio de relaciones entre el ancho de la vía (W) y la altura de las fachadas (H), en la Tabla 3.9 se establecen las proporciones del cañón urbano y el grado de exposición de las fachadas del frente urbano a efectos contaminantes, manteniendo el rango de más menos un 10% como en los anteriores factores medioambientales.

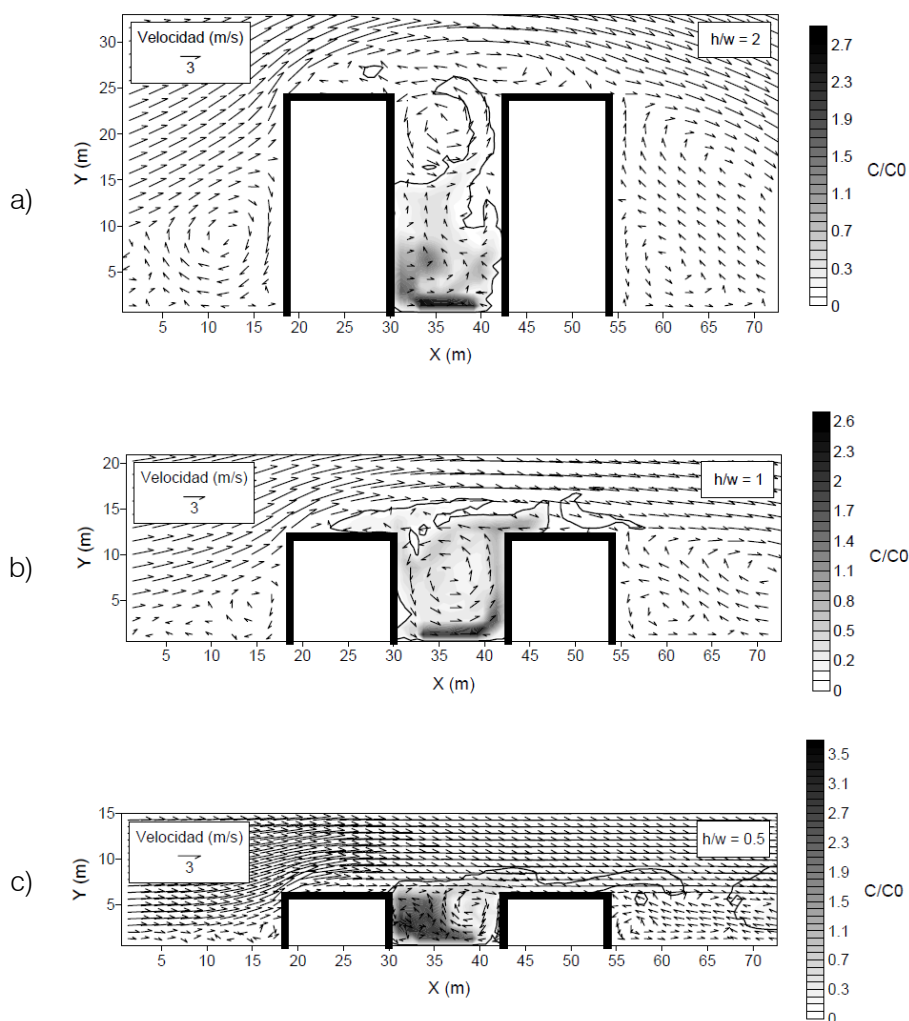


Figura 3.24 Campo de velocidades promediado de viento y patrón de distribución de gases emitidos por el tráfico rodado en una calle con a)  $H/W = 2$ , b)  $H/W = 1$  y c)  $H/W = 0,5$  (Jiménez et al., 2005)

Proporciones	Grado de adhesión
$H/W < 0,9$	Alto
$0,9 \leq H/W \leq 1,1$	Medio
$H/W > 1,1$	Bajo

Tabla 3.9 Proporciones del cañón urbano y grado de adhesión de la contaminación

De manera particularizada mediante la interpretación de los estudios realizados por Jiménez et al. (2005), sobre la repercusión de la contaminación en una vía urbana, se pueden extrapolar los resultados aplicados en las tres zonas de la fachada que se han establecido. A diferencia de los casos anteriores, la zona inferior del edificio será la más afectada por el contacto directo con el dióxido de carbono, mientras que la parte superior se verá libre de gran parte de dichas

sustancias, y la zona intermedia como el tramo con un grado de exposición medio. En la Figura 3.25 se aprecian los tres grados de adhesión de las partículas en una fachada hipotética.



Figura 3.25 Variación de la adhesión de los gases contaminantes

### 3.3.5. Distribución de los distintos paramentos de fachada

Las evidencias de que los agentes medioambientales van a incidir de forma significativa sobre la esperanza de durabilidad de las fachadas obliga a considerar y diferenciar la existencia dentro de una misma fachada de aquellos paramentos que se hallen dispuestos en distinta orientación geográfica, dentro de la trama urbana y ubicados en vías de categorías distintas.

Todo edificio en función de su situación territorial y del perímetro que describe la parcela edificable en que se asienta, reúne un cierto mimetismo de similitud de forma en los quiebrros del paramento de la fachada, por ello se va a considerar, para esta investigación, distintas situaciones de orientación con impactos medioambientales variables entre sí. En la Figura 3.26 se ilustra cómo podría quedar orientado cada quiebro de una hipotética manzana edificada.

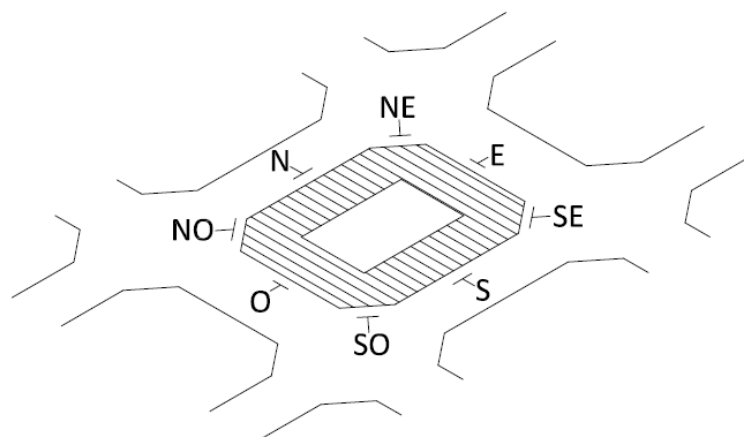


Figura 3.26 Orientaciones de las fachadas según su situación territorial



La clasificación de los distintos planos de fachada que concurren sobre un mismo edificio quedarán ordenados numéricamente de forma que el acceso de la finca señala el primer fragmento y establece la numeración del resto. Por lo tanto en el caso de que la fachada disponga de un solo plano siempre quedara identificado con el número de orden unidad. En el supuesto que existan dos planos orientados en distintas direcciones se seguirá manteniendo el número uno (F1) para la entrada al edificio y el dos (F2) para el otro plano y si se diese un tercero o cuarto se irían numerando de forma sucesiva (F3, F4, ...). Solo existe un caso singular en todo este proceso que se produce cuando el acceso está situado en un plano intermedio, fuera de cualquiera de los extremos de la finca, en este supuesto se inicia la numeración por el paramento en cuestión que dispone del acceso a la finca, seguido del paramento que coincide con la misma calle y el resto se irán numerando de forma rotatoria. En la Figura 3.27 se ha planteado una distribución de distintos edificios señalando mediante puntos rojos donde se halla el acceso al inmueble y los criterios de numeración del resto de paramentos en base a los distintos supuestos.

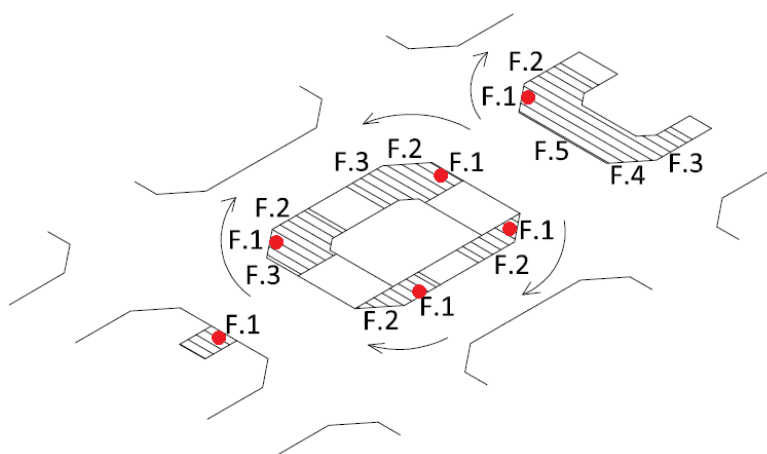


Figura 3.27 Criterios de ordenación de distintos paramentos para una misma fachada

Así pues cada uno de los paramentos en los que se desdoble una misma fachada se verá afectado de forma desigual, con independencia de que sus propuestas constructivas de diseño sean homogéneas o no, a lo largo de su vida útil. Evidentemente las lesiones halladas en cada una de las orientaciones de los distintos paramentos en los que se subdivida la fachada y de su análisis posterior han de permitir comprobar que a pesar de estar contruidos en la misma época, con la misma calidad de materiales, tecnología y uso, el comportamiento frente a la durabilidad puede diferir.

### 3.3.6. Síntesis parcial

Analizados los condicionantes climáticos de mayor repercusión que inciden en la durabilidad de las fachadas de los edificios, así como el efecto de la contaminación producido por el tránsito rodado, es necesario incorporar esa realidad a los estados disfuncionales hallados en los distintos frentes urbanos. En consecuencia, ello obliga a realizar una fusión interpretativa que se observará y fundamentará en dos conceptos. En primer lugar, en base a parámetros territoriales; que va a

contemplar criterios de orientación, proporciones entre el ancho de las calles y la altura de las fachadas, con valores cualitativos específicos y, por otro lado, la propia afectación del paramento que, con independencia de sus consideraciones territoriales, estará sometido a una afectaciones diferentes por tipo de material, tecnología constructiva y por situación dentro de un determinado plano funcional de la fachada.

Los indicadores que se van a tomar como referentes del grado de impacto que van a intervenir medioambientalmente en la evaluación de la durabilidad del frente urbano, por influencias territoriales, descritas anteriormente y que se fundamentan en los estudios publicados de diferentes autores se presentan, a modo de resumen, en la Tabla 3.10.

Proporciones	Factores Medioambientales			
	Solar	Viento	Lluvia	Contaminación
$H/W < 0,9$	Alto	Bajo	Alto	Alto
$0,9 \leq H/W \leq 1,1$	Medio	Medio	Medio	Medio
$H/W > 1,1$	Bajo	Alto	Bajo	Bajo

*Tabla 3.10 Indicadores de impacto medioambiental en función de las proporciones del cañón urbano*

En cuanto al paramento que conforma la fachada, que representa la entidad de menor tamaño del frente urbano que se analiza, que mayoritariamente se verán más afectadas por los fenómenos climáticos las zonas altas que las intermedias, y éstas más que las franjas bajas a nivel de calle. Situación que tan solo se invierte en el caso de la existencia de contaminación de gases por la emisión del tránsito de vehículos.

### 3.4. Fenómeno de degradación

El fenómeno evolutivo de la degradación va a centrarse exclusivamente dentro del concepto del ciclo de vida útil del frente urbano, del tipo de lesiones que se observan, de su magnitud cuantitativa y del estado de gravedad que representan.

Las normas [ISO 15686-5:2008 \(Internacional\)](#) establecen la existencia de cuatro etapas para determinar el ciclo de vida de un sistema edificatorio. Es evidente que en cada una de estas etapas se tendría que ser capaz de determinar su vida de referencia, es decir cuál es el tiempo durante el cual, según el elemento analizado, se van a mantener las prestaciones de diseño prefijadas. Sin embargo en el sector de la edificación estos valores son aun subjetivos y carentes de análisis científico contrastado que garanticen su fiabilidad. En la Figura 3.28 con algunas incorporaciones de matiz se presenta el esquema que muestra la norma de los sectores que incluyen las distintas etapas dentro del diseño del ciclo de vida de un producto edificatorio.

Si en la etapa del ciclo de vida útil del edificio, y por supuesto la de sus fachadas, bajo la consideración de la existencia de un plan de mantenimiento adaptado a las necesidades de servicio establecidas en diseño, aparecen disfunciones, estaremos aceptando que el elemento es atacable y si lo es, tendríamos que saber qué tipo de lesiones puede presentar, cuales son las más representativas, cuan significativas son y cuál es su progresión para poder actuar de forma preventiva sobre el fenómeno de degradación.

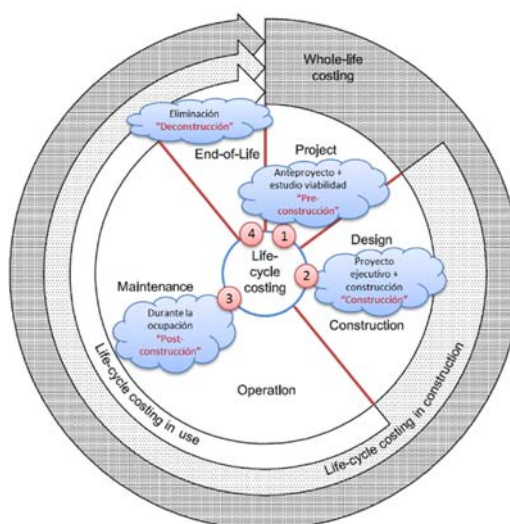


Figura 3.28 Esquema del ciclo de vida (ISO 15686-5:2008, Internacional)

En este sentido destacar las aportaciones realizadas por [Monjo Garrió \(2007\)](#) en sus estudios sobre el chequeo de las fachadas de Madrid ([Monjo Garrió, 1988; 1992](#)), en las que se argumenta la dificultad de determinar la durabilidad real de la vida útil de los elementos constructivos y propone que ésta se halle a través de parámetros de vulnerabilidad, de los materiales existentes en la fachada, vinculados al tipo de lesión específica aparecida. Así pues plantea una clasificación según sus características fisicoquímicas basada en lesiones de naturaleza física por causas meteorológicas y de uso; mecánica debidas a acciones estructurales, constructivas y de uso y las químicas provocadas por organismos, actividades del hombre y agentes naturales. En la Tabla 3.11 se muestra la clasificación patológica propuesta por el mismo investigador y su adaptación para esta Tesis Doctoral.

La clasificación resultante se ha ordenado por columnas, entre ellas aparece la descrita como lesión considerada, que en definitiva responde a una reducción de menor exhaustividad en la descripción de la lesión con la finalidad de reducir el número de variables a observar en la fase de prospección. Ello se justifica por la necesidad de simplificar el trabajo de campo, al ser un estudio poblacional y centrarse en un diagnóstico patológico global de los frentes urbanos. Así pues la columna de lesión considerada y algunas de sus variantes que se hallan resaltadas en negrita serán las que se van a considerar en campo como disfunciones en los paramentos de las fachadas.

Familia	Lesión	Lesión considerada	Variantes
MECÁNICAS	Deformaciones	<b>Deformaciones</b>	desplomes flechas pandeos alabeos
	Roturas	Roturas	<b>Grietas / fisuras</b>
	Desprendimientos	<b>Desprendimientos Abombamientos Desconchados</b>	acabados continuos acabados por elementos elementos sueltos
	Erosión		Impactos y rozamientos eólica
QUÍMICAS	Corrosión	<b>Corrosión</b>	por oxidación previa por aireación diferencial por inmersión por par galvánico
	Eflorescencias	<b>Degradación</b>	directas indirectas animales plantas hongos pátinas costras lixiviación
	Organismos		
	Erosión		
FÍSICAS	Humedades	<b>Humedad</b>	de obra de capilaridad de filtración de condensación accidentales
	Ensuciamiento	<b>Degradación</b>	por depósito por lavado diferencial
	Erosión		meteorológica

Tabla 3.11 Lesiones y variantes consideradas en la investigación

### 3.4.1. Ubicación e inventario de lesiones

Es conocido a través de la praxis profesional y científica que bajo condiciones de afectaciones fisicoquímicas el elemento que mostrará los primeros síntomas de lesión y pérdida de prestaciones es el que se halla más expuesto a ataques medioambientales. Así mismo destacar que el desenlace de una lesión, su magnitud y gravedad pueden verse modificados por su ubicación dentro de cada plano conceptual en los que se ha caracterizado la fachada.




Para establecer qué lesiones son más frecuentes en distintas zonas de una fachada se ha partido del concepto descrito en la Sección 3.1.1., donde se describen sus morfologías. Existen por tanto aspectos formales y aspectos de tecnología constructiva aplicados en los acabados de los revestimiento de una fachada, que provocan unas determinadas lesiones predominantes en base a su vulnerabilidad y su riesgo potencial de siniestro. En la Tabla 3.12 se muestra dicha clasificación partiendo del elemento base, la tipología de revestimiento, su diseño morfológico y los acrónimos identificativos.

Elemento	Revestimiento	Morfología	ID
Fachada	Continuo	Plana	FCP
		Balcón	FCB
		Tribuna	FCT
	Discontinuo	Plana	FDP
		Balcón	FDB
		Tribuna	FDT




*Tabla 3.12 Identificadores de composición de fachadas*

En este patrón descrito se pauta las singularidades físicas de cada fachada y determina el orden de observación, para los inspectores, sin que se cuestionen situaciones vinculadas a un mal diseño o incompatibilidad entre uniones de distintos materiales ya que se asume la existencia de este fenómeno, en modelos no repetitivos, como un hecho inherente a todo proceso constructivo. En consecuencia la clasificación solo persigue unificar criterios que ordenen pautas de identificación para los inspectores que realicen el trabajo de campo.

Dentro del apartado de homogeneización de criterios para la toma de decisiones en la catalogación de la muestra de tipos de fachada, en base al patrón que asume esta investigación, se crean a título de ejemplo visual la Tabla 3.13a que define las tres zonas morfológicas de una fachada con revestimientos continuos y en la Tabla 3.13b para los discontinuos. En ambas tablas se puede dar la situación de coexistencia de cerramiento plano con presencia de balcones y/o tribunas, dando lugar a las fachadas mixtas.

Elemento	Revestimiento	Morfología	ID	Ilustración
Fachada	Continuo	Plana	FCP	
		Balcón	FCB	
		Tribuna	FCT	

*Tabla 3.13a Tipologías de fachadas con revestimiento continuo*

Elemento	Revestimiento	Morfología	ID	Ilustración
Fachada	Discontinuo	Plana	FDP	
		Balcón	FDB	
		Tribuna	FDT	

*Tabla 3.13b Tipologías de fachadas con revestimiento discontinuo*

Con la misma voluntad se ha preparado una guía con imágenes que ilustra cada tipo de lesión, contemplada en la investigación, acorde con el revestimiento de acabado continuo o discontinuo, las características de la fachada y su situación, así como una descripción genérica de las causas. De la Tabla 3.14 a la Tabla 3.18 se muestran las lesiones producidas por causas mecánicas, en las Tablas 3.19 y 3.20 las lesiones químicas y, por último, en la Tabla 3.21 las que corresponden a las lesiones físicas.

<b>MECÁNICAS</b>		
<b>Lesión</b>	<b>Ilustración</b>	
<b>Desprendimientos</b>	 <i>FCP</i>	 <i>FDP</i>
	 <i>FCB</i>	 <i>FDB</i>
	 <i>FCT</i>	 <i>FDT</i>
	<b>Descripción</b>	
	<p>Ausencia de parte o de la totalidad de un elemento. Normalmente afecta a elementos estructurales (losas y balcones) aunque puede observarse en elementos decorativos (cornisas), piezas de acabado (remates de barandas, ya sean de piedra o cerámicos) o en revestimientos continuos.</p>	

*Tabla 3.14 Ejemplo de la presencia de desprendimientos*









Lesión	Ilustración	
Grieta / Fisura	 <p data-bbox="676 734 727 763">FCP</p>	 <p data-bbox="1131 734 1182 763">FDP</p>
	 <p data-bbox="676 1162 727 1191">FCB</p>	 <p data-bbox="1131 1162 1182 1191">FDB</p>
	 <p data-bbox="676 1615 727 1644">FCT</p>	 <p data-bbox="1131 1615 1182 1644">FDT</p>
	Descripción	
	<p data-bbox="228 1742 1390 1861">Hendidura por consecuencia del exceso de tensiones a las que se encuentra sometido un elemento o revestimiento, por efectos climatológicos (dilatación-contracción o acciones de la lluvia ácida), o por razones propias de la naturaleza del material.</p>	

Tabla 3.15 Ejemplo de la existencia de grietas o fisuras

Lesión	Ilustración	
Abombamientos	 <p data-bbox="655 685 703 707">FCP</p>	 <p data-bbox="1118 685 1166 707">FDP</p>
	 <p data-bbox="655 1066 703 1088">FCB</p>	 <p data-bbox="1118 1066 1166 1088">FDB</p>
	 <p data-bbox="655 1447 703 1469">FCT</p>	 <p data-bbox="1118 1447 1166 1469">FDT</p>
<b>Descripción</b>		







Se produce por la pérdida de adherencia de un elemento con su soporte, habitualmente, debida a una mala calidad del producto adhesivo, la incorrecta puesta en obra del revestimiento, la incompatibilidad del material con el uso que se le está dando o incluso por el envejecimiento. Suele afectar tanto al revestimiento de revocos como a los alicatados.

*Tabla 3.16 Ejemplo de la existencia de abombamientos*

Lesión	Ilustración	
	 <p data-bbox="632 645 687 674">FCP</p>	 <p data-bbox="1118 645 1174 674">FDP</p>
Desconchados	 <p data-bbox="632 1070 687 1099">FCB</p>	 <p data-bbox="1118 1070 1174 1099">FDB</p>
	 <p data-bbox="632 1541 687 1570">FCT</p>	 <p data-bbox="1118 1541 1174 1570">FDT</p>
<b>Descripción</b>		







Ausencia de material de revestimiento por su caída. Generalmente se trata del paso posterior al abombamiento, aunque hay otras causas que lo originan, como puede ser los impactos con cierta contundencia. Este fenómeno se asocia a todo tipo de revestimiento.

*Tabla 3.17 Ejemplo de la presencia de desconchados*

Lesión	Ilustración	
Deformaciones	 <p data-bbox="635 678 687 701">FCP</p>	 <p data-bbox="1106 678 1158 701">FDP</p>
	 <p data-bbox="635 1032 687 1055">FCB</p>	 <p data-bbox="1106 1032 1158 1055">FDB</p>
	 <p data-bbox="635 1384 687 1406">FCT</p>	 <p data-bbox="1106 1384 1158 1406">FDT</p>
<b>Descripción</b>		

Cambios en su forma de origen. Puede afectar tanto a elementos estructurales (pérdida de verticalidad de la fachada, losas de balcón, etc.) como a los no estructurales (baranda, elementos ornamentales, etc.). El riesgo va vinculado al tipo de elemento y su situación.

*Tabla 3.18 Ejemplo de la presencia de deformaciones*

QUÍMICAS		
Lesión	Ilustración	
Degradación del material	 <p style="text-align: center;"><i>FCP</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>FDP</i></p>
	 <p style="text-align: center;"><i>FCB</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>FDB</i></p>
	 <p style="text-align: center;"><i>FCT</i></p>	 <p style="text-align: center;"><i>FDT</i></p>
	Descripción	
	<p>Pérdida de propiedades funcionales y estéticas de un elemento para las cuales fue diseñado debidas al paso del tiempo, medioambientales y por falta de mantenimiento. Suele apreciarse en piezas y materiales que componen las fachadas, generalmente de acabado (revoco, pintura, cerámica,...).</p>	

*Tabla 3.19 Ejemplo de la presencia de degradación de material*

Lesión	Ilustración	
	 <p data-bbox="612 725 660 748">FCP</p>	 <p data-bbox="1075 725 1123 748">FDP</p>
Corrosión	 <p data-bbox="612 1084 660 1106">FCB</p>	 <p data-bbox="1066 1084 1114 1106">FDB</p>
	 <p data-bbox="612 1464 660 1487">FCT</p>	 <p data-bbox="1069 1464 1117 1487">FDT</p>
<b>Descripción</b>		

Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico (oxidación). La gravedad de esta patología varía en función de si la oxidación es superficial (comporta un aumento del volumen) o interna (degradación del enlace químico del hierro, lo que implica una pérdida de resistencia). Suele observarse en sistemas de anclaje (barandas, tejas de pizarra, fachadas con revestimiento de piezas) o en perfilaría metálica de las losas de los forjados de tribunas y balcones.

*Tabla 3.20 Ejemplo de la existencia de corrosión*

FÍSICAS		
Lesión	Ilustración	
Humedad	 <p><i>FCP</i></p>	 <p><i>FDP</i></p>
	 <p><i>FCB</i></p>	 <p><i>FDB</i></p>
	 <p><i>FCT</i></p>	 <p><i>FDT</i></p>
	Descripción	
	<p>Presencia de vestigios de agua de forma directa o indirecta. Suele identificarse por la existencia de manchas oscuras o cambios de color en el elemento afectado. Los riesgos principales son derivados a otros estados patológicos dentro del propio elemento.</p>	

*Tabla 3.21 Ejemplo de la existencia de humedad*

### 3.4.2. Evaluación del pronóstico de degradación

El sistema predictivo multiescala que se propone pretende facilitar y adelantarse a tareas de evaluación de riesgos a partir de la verificación y control de deficiencias en frentes urbanos consolidados a partir de chequeos de las fachadas. La mayoría de los artículos científicos consultados persiguen este objetivo, en el caso de [Neto y de Brito \(2011\)](#) presentan una sistemática de inspección y diagnóstico de defectos para reducir subjetividad para la identificación y clasificación de defectos ligados a causas probables; [Mendes da Silva et al. \(2010\)](#) evalúa la durabilidad basándose en cuatro índices de vulnerabilidad creciente que determinan los daños físicos mediante la correlación de riesgo y el valor medio del grado de daños; [Jordana y Gibert \(1999\)](#) en un estudio sobre fachadas de l'Example de Barcelona en el que también se hace referencia a la necesidad de hallar el tipo de lesión, su magnitud y gravedad asociándolo a unas determinadas consecuencias en función del riesgo de caída de elementos a la vía pública. Estos estudios sirven de ejemplos como referencia de la preocupación existente, en el sector de la edificación, por los profesionales y las distintas entidades responsables de la gestión del parque edificado de la necesidad de establecer medidas preventivas frente a la degradación.

La falta de conocimiento predictivo del riesgo, que se traduce con el tiempo en un daño, obliga a reconocer la necesidad de plantear una metodología de prospección de análisis diagnósticos, que empleando ajustados recursos, detecte y dé respuesta científica a estas situaciones anómalas.

#### Representatividad de la lesión

Determinar la extensión de la lesión en cuanto a su magnitud y grado de impacto sobre la totalidad de la muestra analizada puede ser definida siguiendo distintas metodologías. En nuestro caso la representatividad de la magnitud de la lesión contempla su valoración mediante métodos de aproximación superficial basados en el porcentaje de afectación de forma individual sobre aquellos elementos que son idénticos en la fachada.

Dentro de cada elemento inspeccionado se establecen tres niveles de impacto, el puntual (P) que aplica cuando la lesión es menor o igual al 25%, local (L) en el caso de que la lesión supere el 25% siendo inferior al 50% y por último general (G) si la lesión es igual o excede del 50% del elemento inspeccionado. En la Tabla 3.22 se muestra la relación entre la magnitud a considerar y la aplicación de los porcentajes de representatividad de la lesión.

Magnitud	ID	Definición
Puntual	P	% lesionado $\leq$ 25% de los elementos idénticos
Local	L	25% < % lesionado < 50% de los elementos idénticos
General	G	% lesionado $\geq$ 50% de los elementos idénticos

Tabla 3.22 Niveles de magnitud de las lesiones



Obsérvese que la valoración de magnitud de afectación carece de un identificador posicional estricto de su situación en la fachada, ya que sólo marca el elemento donde se produce, sin embargo, si se desea, puede recurrirse a las imágenes fotográficas para pasar de un estudio poblacional a uno particularizado. Esta información, para la investigación, de los datos de la magnitud será relevante para mostrar qué elementos son más sensibles a una mayor afectación y cuál es su progresión a lo largo del tiempo.

### Gravedad de la lesión

Otro parámetro a considerar para estimar la durabilidad, es la gravedad de la lesión y que, asociada a la magnitud, también ha de formular indicadores válidos para definir el riesgo potencial del siniestro a la vía pública.

Desde el punto de vista de la fachada la gravedad, vinculada al tipo de lesión, ha de ser medida en función del impacto del daño, a la reducción de sus funciones físicas y a la pérdida de prestaciones estéticas. En base a esos criterios se proponen seis niveles posibles de gravedades que van desde el 1 al 6. En la Tabla 3.23 se muestran los niveles máximos de gravedad asociados a cada tipo de lesión.

Tipo de lesión	Gravedad
Desprendimientos	1 - 6
Grieta / Fisuras	1 - 6
Abombamientos	1 - 6
Desconchados	1 - 6
Deformaciones	1 - 6
Degradación del material	1 - 6
Corrosión	1 - 6
Humedad	1 - 6

Tabla 3.23 Gravedades máximas según el tipo de lesión

Los grados de importancia de las gravedades se contemplan como estados en los que se hallan los elementos inspeccionados y conducen a realizar propuesta de actuación bajo criterios de mantenimiento preventivos o correctivo para reestablecer el bien, fijando los periodos de intervención deseable para resolver el riesgo. En la Tabla 3.24 aparecen los siete valores del indicador de gravedad junto a su denominación de estado, propuestas planteadas y aplicación temporal de actuación. Destacar que para aquellos elementos observados en buen estado se les asigna un valor nulo y una propuesta de mantenimiento preventivo para ser coherentes frente a la degradación descontrolada.

Indicador	Estado	Propuesta de mantenimiento	Aplicación
0	Buen estado	Preventivo	-
1	Síntoma	Preventivo / Control	Mayor a 10 años
2	Lesión leve	Correctivo / Preventivo	Entre 5 y 10 años
3	Lesión moderada	Correctivo / programado a largo plazo	Entre 3 y 5 años
4	Lesión grave	Correctivo / programado a medio plazo	Entre 1 y 3 años
5	Lesión muy grave	Correctivo / programado a corto plazo	Entre 24 hs y 1 año
6	Lesión extrema	Correctivo / programación inmediata	Menor a 24 horas

*Tabla 3.24 Gravedades en las lesiones observadas*

## PARTE II

# METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DEL SISTEMA PREDICTIVO



## Capítulo 4

# DISEÑO Y ESTRUCTURA DE LA RECOGIDA DE DATOS

Frente al inevitable proceso de urbanización y construcción de edificios, en las últimas décadas en la mayoría de ciudades del mundo se reactiva la necesidad de articular medidas de conservación y de mantenimiento sostenible del patrimonio inmobiliario construido. Esta investigación, como se ha ido argumentando a lo largo de los anteriores capítulos, va a responder exclusivamente al comportamiento y evolución real de la degradación del subsistema fachada de los edificios residenciales, a lo largo de su vida útil, analizadas como un parte del espacio urbano de la ciudad y de la imagen que se proyecta como paisaje urbano.

Cualquier decisión de participación en la gestión del patrimonio edificado existente requiere, ineludiblemente, disponer o, en su defecto, crear la información precisa y suficientemente consistente para no errar en el diagnóstico. En consecuencia se han de plantear las bases científicas y técnicas que contengan aquellos criterios de exploración específicos y acreditados para la realización de un reconocimiento de carácter masivo del frente urbano arquitectónico.

A pesar de la existencia de algunas experiencias contrastadas a distintas escalas en el sector de la edificación ([Chaves, 2010](#)), la metodología de análisis que se ha desarrollado es singular ya que permite contemplar poblaciones de estudio mucho mayores en base a múltiples inspecciones que las experimentadas hasta este momento, aportando la posibilidad de la aplicación de técnicas a multiescala y análisis de supervivencia a partir de los datos obtenidos para inferir sobre el parque edificado. Para ello se planifica una toma de datos ajustada, amplia, generalista, robusta y poblacional de los elementos a observar en las fachadas a lo largo de su vida útil.

Al Sistema Predictivo Multiescala de la Degradación del Frente Urbano Edificado le hemos llamado mediante el acrónimo SPM/<sub>D</sub>/<sub>FUE</sub>, nomenclatura que emplearemos a partir de este momento, donde el primer descriptor hace una clara alusión a la predicción multiescalar, ya que es una de las preocupaciones e innovaciones de la investigación. El segundo alude a la degradación, fenómeno que se desea observar sobre el comportamiento temporal de la durabilidad y el último de los descriptores hace referencia al frente urbano edificado como el elemento objeto de estudio.

El sistema SPM/<sub>D</sub>/<sub>FUE</sub> parte de la discusión de cómo se ha de afrontar la singularidad de la muestra de estudio, cual es la estrategia para la obtención de los datos y qué grado de fiabilidad se aporta al análisis estadístico de durabilidad para alcanzar la información necesaria para una toma de decisiones estratégica.

El contenido de los apartados de este capítulo se halla ampliado en el Anejo D, reflejándose en el cuerpo de la memoria de la Tesis Doctoral tan sólo aquellos extractos finales a los que se ha llegado para formalizar la propuesta del SPM/<sub>D</sub>/<sub>FUE</sub>.

Destacar que una parte del contenido de este capítulo fue expuesta en el XII (Serrat y Gibert, 2011) y XIII (Gibert *et al.*, 2014) Congreso Internacional DBMC (*Durability of Building Materials and Components*) donde se presentó la metodología estadística para el análisis de deterioro y las lecturas obtenidas que permiten decidir cómo actuar sobre el patrimonio construido. Se presentaron también los criterios e indicadores para el análisis de la evolución de la degradación de las fachadas urbanas y el diseño de un método de inspecciones masivas.

#### 4.1. Propósito de la Muestra

Existen dos tendencias diferenciadas para la realización de un análisis diagnóstico del estado de degradación de las fachadas: bajo un enfoque individualizado, en el que la muestra es única y el estudio debe ser muy detallado, o bajo un enfoque global más generalista con acumulación de la información sin tanto detalle, basado en la inspección de múltiples muestras únicas. Esta Tesis Doctoral, recoge las hipótesis planteadas en otros estudios realizados a escalas intermedias (Jordana y Gibert, 1999; Sousa *et al.*, 1999; Mendes da Silva *et al.*, 2010 y Rodrigues *et al.*, 2011), sin embargo se busca una mejora de las prácticas desarrolladas en estos enfoques, bajo el convencimiento de que la realización de un diagnóstico a gran escala, permitirá recopilar gran cantidad de datos y acumular nuevos conocimientos mediante la aplicación de algoritmos capaces de explicar, con mayor precisión, el comportamiento de la durabilidad del parque edificado.

La raíz del modelo predictivo SPM/<sub>D</sub>/<sub>FUE</sub> se fundamenta sobre unos planteamientos estructurales que estarán latentes en toda su fase de diseño y que quedan fijados por:

- Posibilitar que la muestra intervenida pueda ser poblacional y heterogénea, abarcando todas las fachadas del frente urbano, dando lugar a la creación del “Laboratorio Urbano”, que nos permita aplicar criterios sobre los datos observables a metodologías de comportamiento multiescala.
- Concretar la herramienta de soporte de la inspección de la muestra aportando identificadores de los elementos de la fachada, metodología ajustada a grandes inspecciones y el recurso adecuado a su viabilidad tecnológica, temporal y económica.
- Determinar la evolución en la depreciación de la durabilidad de las fachadas urbanas a lo largo del tiempo, mediante estudios analíticos, hasta alcanzar un mayor conocimiento en su comportamiento y minimizar el riesgo aparente hacia la vía pública.
- Articular un sistema de gestión integrado que permita la incorporación de parámetros cualitativos territoriales y la georreferenciación de la información hallada en la muestra.

Para las inspecciones de fachadas, se precisa definir una herramienta (documento de campo) que permita mostrar el estado de cada elemento que compone la fachada consiguiendo, mediante una metodología establecida, transmitir en qué magnitud y en qué grado de gravedad se encuentra la lesión para ejercer un control predictivo sobre ella. Además, es preciso conseguir que la inspección sea rápida y con un mínimo coste, dado que será de aplicación a un gran parque edificado. De la misma forma, es necesario que los datos que se extraigan de la inspección puedan gestionarse y ser procesados para realizar estudios sobre durabilidad paralelos.

Para alcanzar la metodología que se precisa, se han planteado los requerimientos, unos de carácter general y otros de tipo específico, recogidos en la Tabla 4.1, que se consideran fundamentales en la esencia del documento para considerarlo óptimo. La interpretación y el significado concreto de cada campo (característica general) y cada criterio (característica específica de cada campo), se definen a continuación con el fin de evitar posibles confusiones:

- **Identificación:** La identificación debe permitir la descripción de las características generales de la fachada, pudiendo registrar la información más relevante (morfología, datos catastrales, estado de conservación,...), además de ser metódica, para que la inspección siga unas directrices lógicas de inspección pasando de los detalles más generales a los más particulares, y lo máximo de universal posible para permitir la inspección de cualquier tipología de fachada.
- **Clasificación:** La clasificación de la información debe responder de forma secuencial a las características constructivas del elemento, siendo lo más detallada posible, precisando cada mínimo detalle que pueda ser relevante para el estudio, así como ordenada, para mostrar coherencia dentro de cada ámbito y no generar diferencias de interpretación.

Características generales	Características específicas
- campo -	- criterio -
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
	Procesable
	Longitudinal

Tabla 4.1 Requerimientos metodológicos

- **Metodología:** La metodología es el proceso a emplear para obtener la información. Debe ser robusta, presentando los contenidos de forma clara y evitando diferencias de interpretación para una misma situación; estándar, empleando los mismos códigos de identificación para un mismo registro; y rápida, para minimizar tiempos de inspección en la recogida de datos.
- **Recursos:** Los recursos tecnológicos y humanos, y el tiempo de recogida de datos que se requieran para realizar la inspección deben reducir los costes asociados. Para ello se debe disponer de medios tecnológicos que faciliten el trabajo de campo y fijar el grado de especialización del personal que lleve a cabo las inspecciones, optimizando y ajustando el tiempo de toma de datos, volcado de la información y extracción de resultados.
- **Calidad de los datos:** La calidad de los datos recogidos debe de aportar credibilidad, por lo tanto deben ser fiables; además deben ser cuantificables, permitiendo ser procesados analíticamente para extraer resultados numéricos; y contrastables, permitiendo comprobar la bondad de los datos frente a la realidad objetiva a lo largo del tiempo.



- **Análisis:** Interesa que los datos que se extraigan de la inspección tengan la capacidad de poder ser gestionados, procesados y analizados posteriormente, por lo tanto, deben ser multifuncionales, para ser usados en diferentes tipos de análisis, tanto cualitativos como cuantitativos; procesables, pudiendo ser sometidos de forma sistematizada a operaciones programadas; y longitudinales, permitiendo realizar una comparativa a lo largo del tiempo para observar su evolución.

Ante los requerimientos que se formulan en la estrategia troncal, que se ha de mantener dentro de la totalidad de la muestra de cada laboratorio urbano, es preciso matizar cómo se pueden llegar a evaluar sus grados de impacto, cómo identificar los elementos característicos que definen las muestras, qué estructura secuencial requiere la observación de los elementos para crear rutinas, cómo influye el número de observaciones y la obtención de los datos en el análisis de la transición en la durabilidad, qué disfunciones son consideradas como relevantes así como qué grado de magnitud y gravedad implica cada lesión. Seguidamente se fijan todas estas condiciones que nos llevarán a la elección de la mejor de las opciones para el documento de inspección.

### Determinación de los pesos de los requerimientos

Para establecer el formato y el contenido del documento de inspección de fachadas óptimo, hay que determinar, en primer lugar, el grado de importancia o peso de cada uno de los requerimientos expuestos anteriormente. Para ello, se diseñó un estudio en el que participaron expertos en la realización de inspección de fachadas.

Los participantes elegidos para valorar el grado de cumplimiento de la información que se espera alcanzar en base a los objetivos del proyecto fueron cuatro miembros del Laboratorio de Edificación (LABEDI) de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), con amplia experiencia docente e investigadora en el reconocimiento e intervención en grandes áreas del patrimonio edificado. Cada uno de ellos recibió, individualmente, un cuestionario (Documento D.1 adjuntado en el Anejo D.1) en el cual debían de anotar, en base a su consideración y experiencia, el peso cuantitativo para cada requerimiento, tanto general como específico, que debería poseer una herramienta de inspección de fachadas. Aun y siendo conscientes que la consulta puede parecer escasa, queremos resaltar que se primó la experiencia frente al volumen, ya que éste, sin un conocimiento previo profesional sobre inspecciones masivas, podía no ser representativo.

Procesadas y analizadas las valoraciones individuales para cada requerimiento (adjuntadas en el Anejo D.2), se ha creado la Tabla 4.2 cuya columna de la izquierda muestra, el porcentaje de cada uno de los requisitos, entre los que podemos señalar la metodología (22,50%) y la calidad de los datos (21,25%) como los que merecen una mayor atención. En la segunda columna se detallan las características específicas a cada campo y, finalmente, en la tercera y cuarta columna se pueden observar los pesos correspondientes de cada una de ellas dentro de cada campo que le son propios y sus pesos relativos. Nótese que la importancia de los requerimientos más

ponderados recae en que los datos sean fiables (9,03%) y cuantificables (6,64%), con una metodología robusta (7,875%), rápida (7,875) y estándar (6,75%) y en el que la identificación sea descriptiva (6,34%) y universal (6,13%).

Características generales	Características específicas	Peso global	Peso relativo
Identificación 17,50	Descriptiva	36,25	6,340
	Metódica	28,75	5,030
	Universal	35,00	6,130
Clasificación 16,25	Secuencial	36,25	5,890
	Detallada	35,00	5,690
	Ordenada	28,75	4,670
Metodología 22,50	Robusta	35,00	7,875
	Estándar	30,00	6,750
	Rápida	35,00	7,875
Recursos 11,25	Tecnológicos	25,00	2,870
	Humanos	35,00	4,030
	Tiempos	40,00	4,600
Calidad de los datos 21,25	Fiables	42,50	9,030
	Cuantificables	31,25	6,640
	Contrastables	26,25	5,580
Análisis 11,25	Multifuncional	26,25	2,950
	Procesables	41,25	4,640
	Longitudinal	32,50	3,660

Tabla 4.2 Pesos (en %) de las características generales y específicas (globales y relativos)

Por lo tanto, un buen modelo de ficha para realizar la inspección de fachadas será aquél que mejor se ajuste a los pesos hallados para todos aquellos elementos y estados que, en la medida de lo posible, puedan ser observados en las fachadas.

#### 4.1.1. Estructura de la recogida de datos

El tránsito entre la estrategia general de logros y la operativa de inspección fue extensamente discutido, y al final se optó por un sistema de búsqueda de la información mediante fichas de campo como la opción que según [Gaspar y de Brito \(2003\)](#) es más eficaz, aunque, en este caso, se han incorporado mejoras sobre los modelos más clásicos para la recogida de datos. La documentación final se ha estructurado en dos grandes bloques, uno focalizado a la recogida de la información urbanística, edificatoria y de uso, que permite identificar la finca, y otro más específico que establece el estado de degradación de los elementos existentes en las fachadas inspeccionadas.

Acorde con los pesos establecidos en la Tabla 4.2 para los requerimientos generales y específicos que debe contener una ficha de campo, se ha configurado el esquema que dicha ficha debería seguir para alcanzar los objetivos planteados y permitir, sin pérdida de tiempo, tomar la máxima información para futuros estudios.

En las Figuras 4.1a y 4.1b se muestra cual sería el contenido básico para la ficha de campo, diferenciando entre las características urbanísticas propias del edificio, las referencias de diseño constructivo y de afectación de la fachada objeto de estudio.

REFERENCIAS			REFERENCIAS	
DATOS DE CAMPO	DATOS CARTOGRÁFICOS	DATOS CATASTRALES	CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO	CARACTERÍSTICAS DE AFECTACIÓN
<b>CARACTERÍSTICAS DE LA FINCA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción</li> <li>• Distribución</li> <li>• Transformación</li> <li>• Servicios</li> </ul>		<b>CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumétricas</li> <li>• Gráficas</li> </ul>	1. Cuerpo 2. Balcones 3. Tribunas <i>Cada una de ellas contiene:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia</li> <li>• Elemento</li> <li>• Situación</li> <li>• Material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de lesión</li> <li>• Magnitud</li> <li>• Gravedad</li> </ul>
		<b>OBSERVACIONES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	

Figura 4.1a Características del edificio

Figura 4.1b Características de la fachada

Obsérvese que en los contenidos de la estructura (Figura 4.1a), se describen aspectos puramente identificativos que podrían en apariencia no estar presentes en el estudio que se pretende realizar, pero que son de gran utilidad cuando se quiere relacionar con eventos condicionados a fenómenos de ocurrencia de vulnerabilidad territorial. Por otro lado, el objetivo del segundo contenido (Figura 4.1b) es distinto, ya que se persigue recoger qué partes de la fachada se van a tener en cuenta en la inspección y cómo se pueden generalizar, dejando margen para la variabilidad en el material empleado en cada elemento constructivo, para en posteriores inspecciones diagnosticar con la máxima precisión posible.

Destacar que el contenido de la información en ambas estructuras, restringe la posibilidad de descripciones personales por parte del inspector, totalmente subjetivas, y se ha apostado por respuestas más estandarizadas y predefinidas que, aun pareciendo que se pierde la experiencia del inspector, unifican la toma de datos. La importancia funcional del planteamiento y la aparente rigidez de sus contenidos son básicos para determinar una información suficientemente robusta de la realidad hallada en el campo.

### Objetivos de durabilidad

En el sector de la edificación, como ha quedado demostrado, no se dispone de información explícita y contrastada para determinar cuál es la evolución de la degradación de las fachadas en función de sus características, del uso y de su exposición a los agentes externos.

La metodología de inspección que se ha planteado permite diferenciar las distintas lesiones y categorizarlas en función de su gravedad y magnitud. Así pues el concepto de durabilidad debe de entenderse como el tiempo que pasa hasta que se observa una depreciación significativa del elemento y provoca un riesgo para los usuarios de la vía pública.

Autores como [Serrat y Gibert \(2011\)](#) están aplicando modelos estadísticos de supervivencia para llegar a determinar de forma univariada los estados de degradación a través del tiempo. Sin embargo para llegar a resultados fiables va a ser preciso disponer de una muestra suficientemente representativa y plantearse reiteradas inspecciones a lo largo de la vida de la fachada de los edificios.

En la Figura 4.2 se refleja una hipotética evolución de la degradación de una fachada, en la que, por causas diversas durante la vida útil de la misma, aparecen diferentes lesiones,  $L_i$ , que aumentan su gravedad en el tiempo ( $L_{1a}$ ,  $L_{1b}$ ,  $L_{1c}$ ). De este modo, obsérvese que en una primera inspección, se detectó una lesión, y en una segunda inspección, se detectó que la misma había aumentado su gravedad, a la vez que había aparecido, durante el período de tiempo entre las dos inspecciones, una nueva lesión.

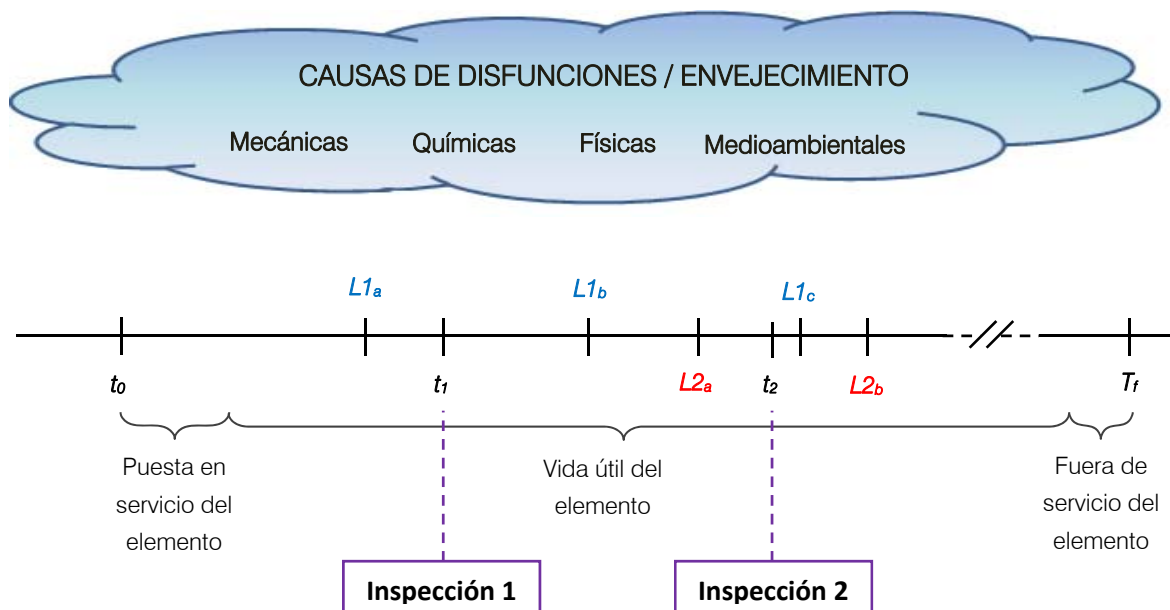


Figura 4.2 Línea temporal de los procesos de envejecimiento y de inspección

Más allá de las causas de las disfunciones, nuestra metodología para estimar la durabilidad se centrará en la determinación de aquellas variables (morfológicas, territoriales, constructivas y medioambientales) que, de manera significativa, intervienen en el proceso de deterioro y aparición/progresión de lesiones.

## 4.2. Análisis de herramientas de inspección

Con las bases prefijadas de la herramienta de inspección que se precisa y qué indicadores son fundamentales para la recogida de datos y sus pesos, la nueva metodología de inspección ha de permitir, en primera instancia, diferenciar los aspectos identificativos del edificio de los descriptivos de la fachada. Asimismo tiene que clasificar los distintos elementos existentes en la fachada y mediante observación visual, en cada caso, indicar su estado de lesión en el momento de la inspección. En esta Sección se discute y analiza qué modelos de fichas de campo existen en la actualidad para la realización de inspecciones de fachadas. Estos se compararán entre ellos, permitiendo extraer conclusiones que nos ayuden a confeccionar una ficha de inspección óptima.

En cuanto a los datos relativos al estado de conservación, de los elementos que forman las fachadas, han de ser susceptibles de manipulación para posteriores análisis estadísticos y permitir su implementación final en una plataforma de gestión con visión territorial, tipo GIS (*Geographic Information System*).

### Ficha de campo del Laboratorio de Edificación

El estudio parte de las fichas de campo referenciadas en el trabajo final de máster [Gibert y Royano \(2010\)](#), el cual ya propone introducir técnicas estadísticas de análisis de supervivencia para la estimación de la durabilidad de las fachadas principales de los edificios urbanos. La base utilizada para dicho trabajo provino de las primeras inspecciones efectuadas en la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat, cuya recogida de datos se realizó con el modelo de ficha propuesta por el Laboratorio de Edificación (LABEDI) de la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona (EPSEB).

Este modelo de ficha fue elaborado en el año 1998 con el fin de obtener aquellos datos necesarios para poder elaborar una base de información lo más completa posible sobre unos parques edificados heterogéneos. Su experimentación se llevó a cabo en varios barrios de Barcelona, en la totalidad de barrios residenciales de L'Hospitalet de Llobregat, en las ciudades de Valparaíso y Santiago de Chile, entre otras. Los resultados fueron robustos según las brigadas de eliminación de riesgo de los servicios municipales de las ciudades en cuestión.

La ficha LABEDI consta de dos páginas (Figura 4.3 y Figura 4.4); la primera recoge los datos de diferentes bases administrativas, requerimiento impuesto por los técnicos municipales, que comparadas entre sí con los de campo permiten un contraste que posibilita la homogenización de la información municipal, a la vez que especifica ciertos parámetros de la finca como su edad,

clasificación urbanística, tipología arquitectónica, tipos de uso, distribución de las dependencias, circunstancias de eventos de modificaciones constructivas del edificio a las de origen y la posibilidad de identificar otras variables en las que se encuentra la parcela. En la segunda parte se detallan todos los elementos constructivos que pueden estar presentes de forma genérica en la composición de una fachada y se cuantifica cuál es su estado de degradación en el momento de la inspección. Destacar que los elementos objeto de estudio y clasificación son los mismos para toda la muestra, pero no necesariamente todos van a existir en las fachadas inspeccionadas.

En la caracterización de la fachada, donde se define también su estado, son importantes las capacidades y el tipo de conocimiento del inspector, ya que ha de referenciar de forma precisa y sin errores los eventos observados. El dominio de los procesos constructivos le ha de permitir discernir los diferentes elementos constructivos existentes en la fachada durante la fase de inspección, según se encuentren en el cuerpo, en los huecos, en los revestimientos o en el caso de cuerpos salientes, si existen balcones, tribunas u otros elementos contemplados.

El inspector debe ser capaz también de diferenciar las lesiones catalogadas, contemplando si existe una deformación, grietas, desprendimientos, abombamientos, desconchados, corrosión, degradación del material o humedades (conforme a la Tabla 3.11 del Capítulo 3). Además, debe evaluar las diferentes magnitudes y riesgos que presentan las lesiones observadas para poder completar de forma correcta la ficha.

La magnitud de la lesión se define como el porcentaje de un tipo de lesión que afecta a un elemento o conjunto de elementos iguales diferenciando, en este caso, entre puntual, local o general según las indicaciones marcadas en la Tabla 3.22.

Para poder determinar el riesgo que presenta la lesión observada en la fachada inspeccionada, se hizo una clasificación (Tabla 3.24) mediante la valoración de 0 a 6, siendo el 0 cuando no existe riesgo aparente y por lo tanto no hay que tomar medidas preventivas y 6 cuando el elemento necesita de una reparación inmediata para evitar daños personales y/o materiales dado que se considera que hay un riesgo inminente.

A continuación se adjuntan las dos páginas que ilustran las dos fichas de inspección de fachadas propuesta por el Laboratorio de Edificación de la EPSEB, y con la que se recogieron 13.193 fachadas inspeccionadas, por primera vez en el periodo 1997-2001, de L'Hospitalet de Llobregat. Estos datos constituyen, junto a los valores observados en posteriores campañas de reinspección, la base de datos objeto de estudio en esta investigación.

INFORMACIÓ GENERAL			FITXA:1 EPSEB		LABORATORI D'EDIFICACIÓ			
<b>DADES DE CAMP</b>			<b>DADES CARTOGRÀFIC</b>			<b>DADES CADASTRALS</b>		
BARRI:			NÚM. U.T.M.:			NÚM. U.T.M.:		
MUNICIPI:			NÚM. MUNICIPAL:			NÚM. MUNICIPAL:		
DATA INSPECCIÓ:			NÚM. PARCEL.LA:			NÚM. PARCEL.LA:		
NÚM.INSPECCIÓ:			Núm. Plantes Sb. R:			Núm. Plantes:		
DATA ENTREGA:			Núm. Plantes St. R:			Parking:		
ADREÇA:			Longitud façanes:			Longitud façanes:		
NOVA ADREÇA:						Any construcció:		
						Us:		
						Propietat	H:	V:
<b>ANY DE CONSTRUCCIÓ</b>			<b>PI.</b>	<b>Alt.</b>	<b>ESQUEMA DE PLANTA</b>			
<b>TIPUS DE PROMOCIÓ</b>					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Datos añadidos del plano cartográfico proporcionado por el Ayuntamiento</div>			
PÚBLICA					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Datos tomados del catastro del Ayuntamiento</div>			
PRIVADA					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Fecha de construcción de la finca</div>			
<b>TIPOLOGIA CONSTRUCTIVA</b>					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Indicador del tipo de promoción</div>			
UNIFAMILIAR					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Datos de campo</div>			
PLURIFAMILIAR					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Sección, alzado y fotografía de la fachada</div>			
AÏLLADA								
ENTRE MITGERES								
TIPUS D'ÚS								
MAJORITARI								
VIVENDA								
COMERCIAL								
INDUSTRIAL								
<b>DISTRIBUCIÓ</b>								
NÚM. PLANTES	Sb.R		St.R					
NÚM. D'ESCALES								
NÚM. DE VIVENDES								
NÚM. VIV. PLANTA								
NÚM. LOCALS								
ASCENSOR	SI		NO					
PARKING	SI		NO					
NÚM. FAÇANES								
<b>REMONTES</b>					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Datos del cartográfico</div>			
ANY DE REMONTA					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Número de plantas en base al esquema</div>			
PLANTES REMONTADES					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Longitud de la fachada tomada "in situ"</div>			
NÚM. VIVENDES PLANTA								
<b>INSTAL.LACIONS FAÇANA</b>								
GAS	TV		ELECTRIC.					
TLF	A.A.		BAIXANTS					
ENLL. PÚBLIC			ALTRES					
<b>CARACTERÍSTIQUES DEL SOLAR</b>					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Esquema en planta de la fachada incluyendo las calles a las que pertenece</div>			
Edificis afectats per Normes					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Parcelas especiales</div>			
Edifici abandonat								
Solar amb tanca								
Edifici en construcció								
Façana en rehabilitació					<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">DIMENSIONS FAÇANA</div>			
					A:			
					B:			
					C:			

Figura 4.3 Ficha LABEDI de información general

FAÇANA PRINCIPAL		FITXA:2		EPSEB		LABORATORI D'EDIFICACIÓ																
CARACTERISTIQUES FAÇANA		T F DM D H O B Es																				
COS		P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G
PARAMENTS																						
PARAMENTS																						
BUITS																						
LLINDES																						
BRANCALS																						
LLINDES																						
BRANCALS																						
AMPITS																						
REVESTIMENTS		P L G P L G P L G P L G P L G P L G P L G P L G																				
DISCONTINU																						
APLACAT																						
APLACAT																						
CONTINU																						
ARREBOSSAT																						
ESTUCAT																						
ESGRAFIAT																						
PINTAT																						
BARANA DE COBERTA																						
PARAMENT																						
PARAMENT																						
APLACAT																						
ARREBOSSAT																						
BALUSTRES																						
REMAT																						
COSSOS SORTINTS		T F DM D H O B Es																				
BARANES		P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G
PARAMENT																						
PARAMENT																						
APLACAT																						
ARREBOSSAT																						
BALUSTRES																						
REMAT																						
BALCONS																						
LLOSES																						
LLOSES																						
CANTELLS																						
SOTABALCÓ																						
TRIBUNES																						
PARAMENT																						
PARAMENT																						
APLACAT																						
ARREBOSSAT																						
ESTUCAT																						
ESGRAFIAT																						
PINTAT																						
LLINDES																						
BRANCALS																						
SOTATRIBUNA																						
ALTRES ELEMENTS																						
SOCOL																						
MENSULES																						
IMPOSTES																						
CORNISES																						
RÀFECES																						
PESCANTS																						
MOTLLURES																						
ALTRES																						
ALTRES																						

Fachada analizada A, B, C

Tipo de lesión

Material del elemento

Magnitud de las lesiones:  
 P (puntual) entre 0% y 25%  
 L (local) entre 25% y 50%  
 G (general) más del 50%

Validación de la casilla cuando el elemento constructivo exista

Casilla indicativa de la gravedad de la lesión

Figura 4.4 Ficha LABEDI de información específica



#### 4.2.1. Valoración de las fichas de inspección

En la actualidad existe una gran diversidad de fichas de campo con el objetivo de inspeccionar y analizar las fachadas de los edificios y cuyos objetivos particulares vienen determinados por intereses muy diversos. Bajo estas circunstancias y para evaluar distintas posibilidades de fichas, se han seleccionado tres modelos representativos existentes en Catalunya, para poder comprobar la existencia, dentro de su estructura, del contenido o no, de las características generales y específicas prefijadas.

Los tres documentos elegidos están formados por la ficha propuesta por el Laboratorio de Edificación (LABEDI), que merece una atención especial por su aportación al desarrollo de esta Tesis Doctoral, la ficha de inspección de la Generalitat de Catalunya, más conocida como ITE, de la que sólo se contempla el apartado de fachada, y la propuesta por parte del Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya (ITeC) del año 2000 (Bellmunt *et al.*, 2000). Toda la información relacionada con las fichas ITE (Documento 2) y la propuesta de ITeC (Documento 3) se encuentra en el Anejo D.3.

Para realizar el análisis comparativo entre las tres fichas presentadas, se solicitó de nuevo la colaboración a los expertos que evaluaron los requerimientos que debe disponer la ficha deseada y a otros tres técnicos juniors que participaron en experiencias académicas de inspección, para que evaluaran cada uno de ellos los campos existentes en las fichas y poder observar mediante su evaluación en qué medida se cumple con las características prefijadas. Con este fin se entregó a cada participante el Documento 4 adjuntado en el Anejo D.4.

Para evaluar las distintas características específicas, recogidas en la Tabla 4.1, de las fichas de inspección, cada colaborador debía puntuar el nivel de cumplimiento de las mismas, de 0 a 10, siendo 0 muy en desacuerdo y 10 muy de acuerdo. Una vez recogidas todas las puntuaciones individuales se analizaron descriptivamente los resultados, obteniendo unos promedios para cada uno de los criterios que permitieron comparar las fichas entre sí, y ver cuál de ellas resultaba mejor cualificada.

Del resultado destacar que las fichas participantes (ITeC) y (ITE) sacan puntuaciones muy similares frente a la de (LABEDI), que aparece mayoritariamente mejor posicionada. La justificación es sencilla, cada ficha persigue distintos objetivos, mientras la ficha (LABEDI) describe un marcado propósito de posibilitar inspecciones a gran escala, las otras dos se centran en inspecciones más particularizadas y no contemplan la posibilidad de análisis posteriores. En la Tabla 4.3 se recogen las puntuaciones medias obtenidas de cada requerimiento específico para cada una de las fichas confrontadas.

Características generales y específicas		ITeC	ITE	LABEDI
Identificación	Descriptiva	5,86	6,29	7,29
	Metódica	5,14	6,86	7,71
	Universal	6,71	7,00	6,57
Clasificación	Secuencial	4,71	6,29	7,43
	Detallada	4,57	5,86	7,57
	Ordenada	5,43	6,29	7,71
Metodología	Robusta	4,00	4,43	7,71
	Estándar	4,29	4,14	7,86
	Rápida	5,14	4,86	7,57
Recursos	Tecnológicos	5,86	5,43	6,00
	Humanos	6,00	4,14	7,43
	Tiempos	6,00	5,29	8,00
Calidad de los datos	Fiabiles	6,43	6,00	6,86
	Cuantificables	2,57	2,86	8,00
	Contrastables	7,00	6,00	3,00
Análisis	Multifuncional	5,00	5,14	7,86
	Procesables	3,29	3,00	8,14
	Longitudinal	4,00	4,00	7,71

Tabla 4.3 Puntuaciones individuales de las diferentes fichas propuestas

Observamos como en las columnas correspondientes a los epígrafes de las fichas aparecen muchos valores por debajo del 7 en la mayoría de los campos específicos, situación que no es habitual en la ficha (LABEDI). No obstante, en esta última queda al descubierto la necesidad de mejorar el campo contrastable.

### Comparativa entre las fichas de inspección

Realizada una primera valoración individual de cada ficha de inspección presentada, ésta no permite obtener conclusiones en cuanto a una ficha óptima, que recoja los requerimientos establecidos, dado que no se ha realizado ningún análisis comparativo entre las mismas.

Por ello, a continuación se lleva a cabo este estudio comparativo. De todos los sistemas de análisis existentes para realizar un estudio de este tipo, se han escogido métodos multicriterio, es decir, aquéllos que usan una metodología que acepte incorporar múltiples criterios (con peso variante) permitiendo analizar en profundidad los diferentes conceptos que se quieran estudiar. Este tipo de método se usa en casos en que existe un número finito de soluciones, reduciendo las posibles alternativas a una en concreto.

Las tres técnicas escogidas para realizar el estudio de comparación han sido las siguientes:

- El método de las jerarquías analíticas
- El método Electre II
- El método Arrow-Raynaud.

Se han tomado estos tres métodos por ser lo suficientemente eficientes y distintos entre sí. El funcionamiento de cada uno de ellos aplicado al caso que nos ocupa se detalla en el Anejo D.5. A continuación se exponen exclusivamente los resultados finales respectivos con la finalidad de extraer una conclusión en cuanto a qué ficha de inspección tiene un mayor ajuste al proyecto.

El método de las jerarquías analíticas, AHP (*Analytic Hierarchy Process*), fue propuesto por [Tomas L. Saaty \(1980\)](#). Se basa en la obtención de la solución o soluciones preferentes en base a unos criterios y unos pesos de importancia.

La Tabla 4.4 muestra las puntuaciones de las características generales para cada una de las fichas de inspección obtenidas por el método de las jerarquías analíticas.

Características Generales	Fichas de campo		
	ITeC	ITE	LABEDI
Identificación	5,95	6,70	7,16
Clasificación	4,87	6,14	7,56
Metodología	4,49	4,49	7,71
Recursos	5,97	4,92	7,30
Calidad de los datos	5,37	5,02	6,20
Análisis	3,97	3,89	7,93

Tabla 4.4 Puntuaciones para las características generales de las diferentes fichas de inspección según el Método AHP

En este caso, la ficha LABEDI es la que mayor puntuación obtiene para cada criterio. Mencionar como la ficha ITE ha pasado a suspender sólo en dos de los seis campos analizados, cuando de forma individual tenía repartidas puntuaciones bajas hasta en cuatro campos (Tabla 4.3). Esto ocurre porque el peso de los criterios al que afectaba es de poca importancia, por lo tanto, poco influyente. En el caso de la ficha propuesta por ITeC, se puede ver como los criterios con puntuación baja han sido suficientes para afectar hasta a tres de los seis campos propuestos de análisis.

Ahora bien, teniendo en cuenta los diferentes campos con mejor y peor nota, se debe discernir si es grave fallar en según qué criterios o si la baja calificación se puede llegar a tolerar en algunos campos. La Tabla 4.5 muestra las notas finales que atribuye el método AHP a las diferentes fichas.

ITeC	ITE	LABEDI
5,10	5,24	7,25

Tabla 4.5 Puntuaciones finales de las fichas de inspección según el Método AHP

En este caso, todas las fichas obtienen una correcta cualificación, entendiendo como tal que cumplen en parte los requisitos estipulados, siendo la ficha LABEDI la mejor alternativa para cumplirlos, ya que ha obtenido la mayor puntuación.

El segundo método multicriterio empleado ha sido el método Electre II (Roy, 1971; Roy y Bierter, 1972). Es un método que compara las alternativas en base a tablas y matrices a partir de las calificaciones de los criterios para cada una de ellas, permitiendo evaluar las ventajas y desventajas relativas en cada criterio y jerarquizarlas en un orden de preferencias, de la mejor a la peor. La Tabla 4.6 recoge el orden de preferencia de las distintas fichas de inspección según el método Electre II. (Anejo D.5)

Alternativas	Clasificación
LABEDI	1º
ITE	2º
ITeC	3º

Tabla 4.6 Clasificación final de las fichas de inspección según el método Electre II

La clasificación sigue siendo favorable a la ficha del Laboratorio de Edificación (LABEDI), seguida por la ficha de Inspección Técnica de Edificios (ITE), siendo la ficha propuesta por el Instituto Tecnológico de la Construcción (ITeC) la menos adaptada entre las tres.

Para concluir este análisis comparativo de ficha de campo, se ha utilizado el método axiomático de Arrow-Raynaud. Este método fue propuesto por Arrow y Raynaud (1986) y se basa en la utilización de un algoritmo de clasificación compatible con cinco axiomas de la teoría de la elección social. En él se realiza una comparación de las puntuaciones mayores o iguales de cada alternativa respecto a la comparada para cada criterio, no interesándose por el peso de cada criterio en sí, permitiendo obtener la mejor alternativa en base a ir eliminando la alternativa peor, y logrando una clasificación de las distintas alternativas clasificándolas de la peor a la mejor. La Tabla 4.7 muestra la clasificación de las fichas de inspección comparadas según el método Arrow-Raynaud.

Alternativas	Clasificación
LABEDI	1º
ITE	2º
ITeC	3º

*Tabla 4.7 Clasificación final de las fichas de inspección según el método Arrow y Raunod*

Por lo tanto, según este último método la ficha de inspección de edificios mejor valorada en función de los criterios establecidos es la propuesta por el Laboratorio de Edificación (LABEDI), siendo la ficha del Instituto y Tecnológico de la Edificación (ITeC) la peor valorada.

### Conclusiones del análisis realizado

En resumen, podemos observar que los tres métodos escogidos para realizar el estudio comparativo de ajustes de criterios dan como mejor ficha de inspección de fachadas la propuesta por el Laboratorio de Edificación, hecho que era probable que pasara dado que, por un lado, es la alternativa que persigue los objetivos más parecidos a los establecidos al inicio de este capítulo y, por otro, por ser la que mejor puntuación obtuvo en la mayoría de los criterios establecidos, aumentando la probabilidad de que fuera la mejor clasificada en todos los métodos.

Igualmente, aunque la lógica lleve a pensar que la ficha del Laboratorio era la mejor propuesta, el peso de los distintos criterios era muy variable en todos ellos. La evidencia queda demostrada en el momento en que se comprueba la independencia de la clasificación respecto al método de evaluación.

Un valor añadido de los métodos presentados consiste en un análisis pormenorizado que permita proponer, posteriormente, mejoras que hagan de la ficha LABEDI, así como cualquiera de las otras dos, una ficha más completa.

En el caso de los resultados obtenidos por el método AHP, la ficha del Laboratorio de Edificación ha obtenido un 7,25. Esta puntuación aun siendo buena deja un margen evidente de mejora. Además de demostrar cuál es la mejor de las alternativas, entre las tres, este método da la puntuación de los diferentes criterios y campos, permitiendo contemplar cuales son aquéllos en que la puntuación es menor, y por lo tanto, donde la ficha presenta algunas carencias.

En cuanto a los resultados obtenidos por el método Electre II, su compleja metodología comporta una difícil interpretación. Aunque en la matriz de sobreclasificación se podría interpretar un resultado como el que finalmente se ha obtenido, ha sido interesante realizar todos los pasos pues ha explicado como penalizaba la ficha del Laboratorio por ser tan inferior a las otras alternativas en uno de los criterios definidos. Este aspecto ha hecho que se alejara considerablemente del punto óptimo presentado por este método, el (1,0), haciendo peligrar su

primera posición. A diferencia del método anterior, éste no permite ver qué criterios son los que se deben mejorar, sin embargo, pone especial interés al hecho de ser inferior a las alternativas contra las que se compara. Por lo tanto, una de las conclusiones que se pueden extraer es la necesidad de recortar estas diferencias para conseguir mayor igualdad con la ficha objetivo.

Por último, el método de Arrow-Raynaud ha demostrado ser el método más simple de los tres escogidos. Su finalidad es obtener sólo una clasificación de la peor a la mejor opción, siendo complicado poder extraer conclusiones útiles. Además, el hecho de no considerar los pesos de los diferentes criterios en el desarrollo del estudio comparativo hace que no sea el método más adecuado a tener en consideración de cara a propuestas de mejora.

#### 4.2.2. Fiabilidad de los datos de la ficha LABEDI

Las inspecciones de fachadas son el conjunto de unas acciones de reconocimiento realizadas por técnicos cualificados que verifican y cualifican el estado de las fachadas, y proponen mejoras de mantenimiento a efectuar en la fachada para aumentar su durabilidad.

Es obvio que, en un estudio de la ciudad a macroescala, es inviable que un solo técnico realice la inspección de todas las fachadas de un parque edificado. Por lo tanto, los datos recogidos provienen de inspecciones realizadas por técnicos diferentes que, *a priori*, siguen los mismos criterios establecidos y poseen conocimientos de edificación y diagnóstico similares, ya sea por su titulación universitaria o experiencia profesional. Sin embargo, a pesar de seguir unas pautas marcadas, en la toma de datos de campo puede existir un punto de subjetividad que haga variar la percepción de lo que se observa, cuantificando la lesión observada en menor o mayor grado de gravedad, o magnitud, en función de la opinión del técnico.

Por lo tanto, es importante analizar el grado de variabilidad de los datos recogidos por los distintos técnicos que realizan las inspecciones, para dar un carácter fiable a los resultados que se obtengan del análisis estadístico de los datos.

En la actualidad no existen muchos estudios de la fiabilidad de los datos en el ámbito de la edificación y la arquitectura. Uno de los estudios más cercanos es el realizado por [Tenzera et al. \(2012\)](#) en el ámbito de la infraestructura civil. Estos autores evaluaron el nivel de uniformidad en las evaluaciones realizadas a un conjunto de puentes por 15 ingenieros, con experiencia en la realización de inspecciones visuales generales y específicas. Los autores sólo consideran la gravedad de la lesión sobre una lista de elementos, sin considerar la magnitud ni la tipología de la misma. Los resultados que se obtuvieron determinaban que había gran diversidad de puntuación para una misma lesión localizada en un mismo elemento, lo que hacía evidente una mejora del sistema de valoración, puesto que los inspectores perciben la gravedad de la lesión de distinta manera.

Anteriormente [Moore et al. \(2001\)](#) realizaron un estudio de inspección sobre 7 puentes en el que participaron un total de 4 expertos en inspecciones de puentes que pertenecían a 25 Estados

distintos del país. A todos ellos se les facilitó formación, información y herramientas análogas. Las inspecciones resultaron de una amplia variabilidad y, como media, se asignaron a cada elemento 5 valores distintos en una escala de 10. Los valores que mostraron mayor variabilidad son: miedo al tráfico, agudeza visual en la distribución del color, intensidad de la luz e interpretación por parte del inspector de conceptos como mantenimiento, complejidad y accesibilidad.

El propósito de esta sección es determinar si la información obtenida de las inspecciones de fachadas realizadas por distintos técnicos es fiable o, al contrario, los datos recogidos presentan gran variabilidad debida a la influencia del factor subjetividad de cada inspector.

### **Metodología comparativa**

Desde el Laboratorio de Edificación, conjuntamente con el Instituto de Estadística y Matemática aplicada a la Edificación de la EPSEB, se propuso una prueba piloto que consistía en la realización de la inspección de una muestra representativa de fachadas de un parque edificado por parte de cuatro técnicos con experiencia, en base a la ficha LABEDI (Figura 4.3 y Figura 4.4), con el objetivo de analizar las valoraciones individuales de cada técnico y extraer unas conclusiones que determinaran el grado de variabilidad de los datos recogidos.

Los cuatro inspectores que colaboraron en la realización de esta prueba pasaron por una formación previa para concebir todos los términos y criterios necesarios para rellenar la ficha de inspección, es decir, conocer las distintas morfologías y revestimientos de fachadas, las lesiones que se tienen en cuenta en el estudio, los elementos donde se puede apreciar la lesión y, sobretodo, como cuantificar la lesión tanto a nivel de gravedad como de magnitud, para cada apartado de la ficha.

La muestra de fachadas seleccionada para inspeccionar se sitúa en el municipio de L'Hospitalet de Llobregat, el mismo que se tiene como referencia en el transcurso de la Tesis Doctoral. Esta selección se clasificó en 6 grupos, en función de su morfología (fachada plana, con balcones o con tribunas) y el tipo de revestimiento (continuo o discontinuo). En el Anejo D.6 se detalla la muestra seleccionada de fachadas utilizada para realizar el estudio.

No siempre las fachadas inspeccionadas pudieron ajustarse al rigor de la morfología estricta, por ello, y en estos casos, la fachada se ha tomado según su elemento más representativo para ser analizada. En La Figura 4.5 se ilustra un caso en el cual, a pesar de la existencia de una parte plana, balcones y tribunas, su elemento principal es la tribuna, siendo catalogada en el grupo de fachadas con tribuna.



Figura 4.5 Ejemplo de fachada con tribuna y revestimiento discontinuo

Previo a la inspección de las 60 fachadas que entraron en el experimento, se establecieron los distintos procesos y medios necesarios para llevar a cabo el análisis de variabilidad de los datos recogidos, tal y como muestra la Figura 4.6.

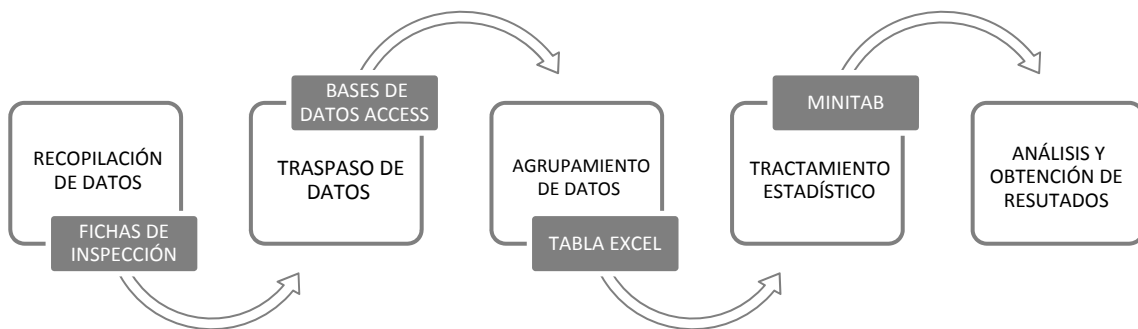


Figura 4.6 Procesos y medios utilizados en el análisis de fiabilidad de los datos

Partiendo de las fichas de campo, en formato físico, rellenas por cada inspector, el primer paso fue traspasar dichos datos a formato digital mediante una base de datos creada con Microsoft Access, la cual contiene todos los parámetros principales de la ficha LABEDI. Traspasados los datos se exportaron directamente al programa Microsoft Excel para crear tablas con las dimensiones necesarias que agruparan todos los datos en un mismo fichero de manera ordenada para facilitar el posterior estudio estadístico. La tabla creada sirvió como base para otras subtablas con recuentos y estadísticas obtenidos con el programa de análisis estadístico Minitab (Minitab Inc., 2016) para estudiar la variabilidad de los datos y de los inspectores.



### Análisis y obtención de resultados

El análisis estadístico consistió, en primer lugar, en calcular algunos estadísticos descriptivos básicos, en función de la magnitud o la gravedad de la lesión, tales como la mediana, la desviación típica y valores mínimos y máximos, acompañándolos de gráficos de caja o “boxplot” y, posteriormente, se realizó un análisis de la varianza mediante un modelo lineal general con efecto aleatorio, cuyo factor fijo es el inspector y el factor aleatorio es la fachada (Lindsey, 1997; Verbeke y Molenberghs, 2000).

La Figura 4.7 muestra la distribución, en porcentaje, de las magnitudes del total de lesiones observadas por cada inspector.

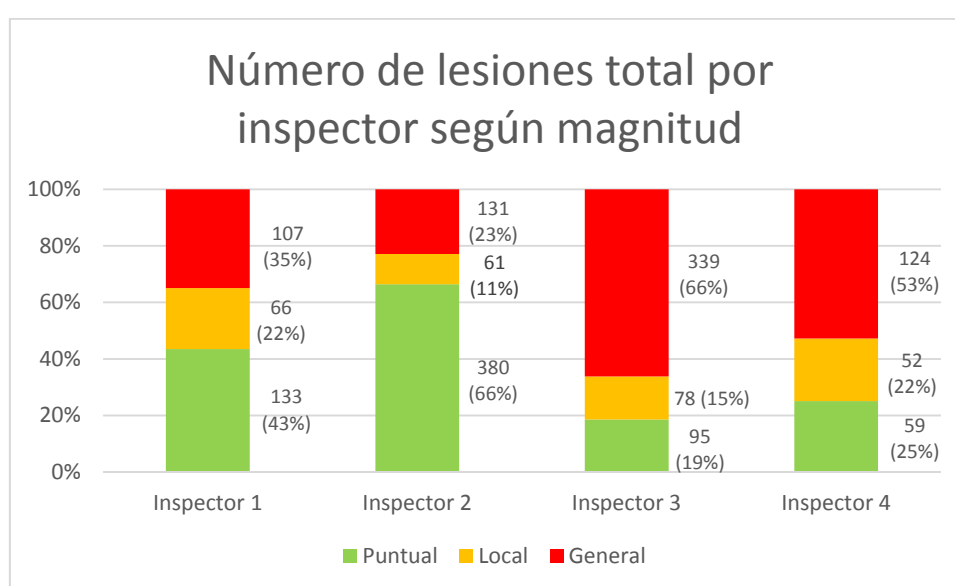


Figura 4.7 Número de lesiones total (porcentaje) por inspector según magnitud

Obsérvese que el número total de lesiones detectadas por el inspector 2 y 3 (572 y 512 respectivamente) es mucho mayor, llegando incluso a duplicar al total de detectadas por los inspectores 1 o 4 (306 y 235 respectivamente). En cambio a la distribución de porcentajes de las lesiones detectadas en función de la magnitud del total de lesiones observadas por cada inspector se puede destacar que los técnicos 1 y 2 declaran hallar más lesiones de magnitud puntual, mientras que los inspectores 3 y 4 la mayoría de lesiones que detectan las cuantifican de magnitud general. Otro dato que destaca es la diferencia, en valores absolutos, del número de lesiones de magnitud puntual observadas por el inspector 2 y el inspector 4 (380 y 59, respectivamente).

En cuanto a la distribución de las lesiones en función de la tipología de fachada, la Figura 4.8 representa los resultados para cada inspector.

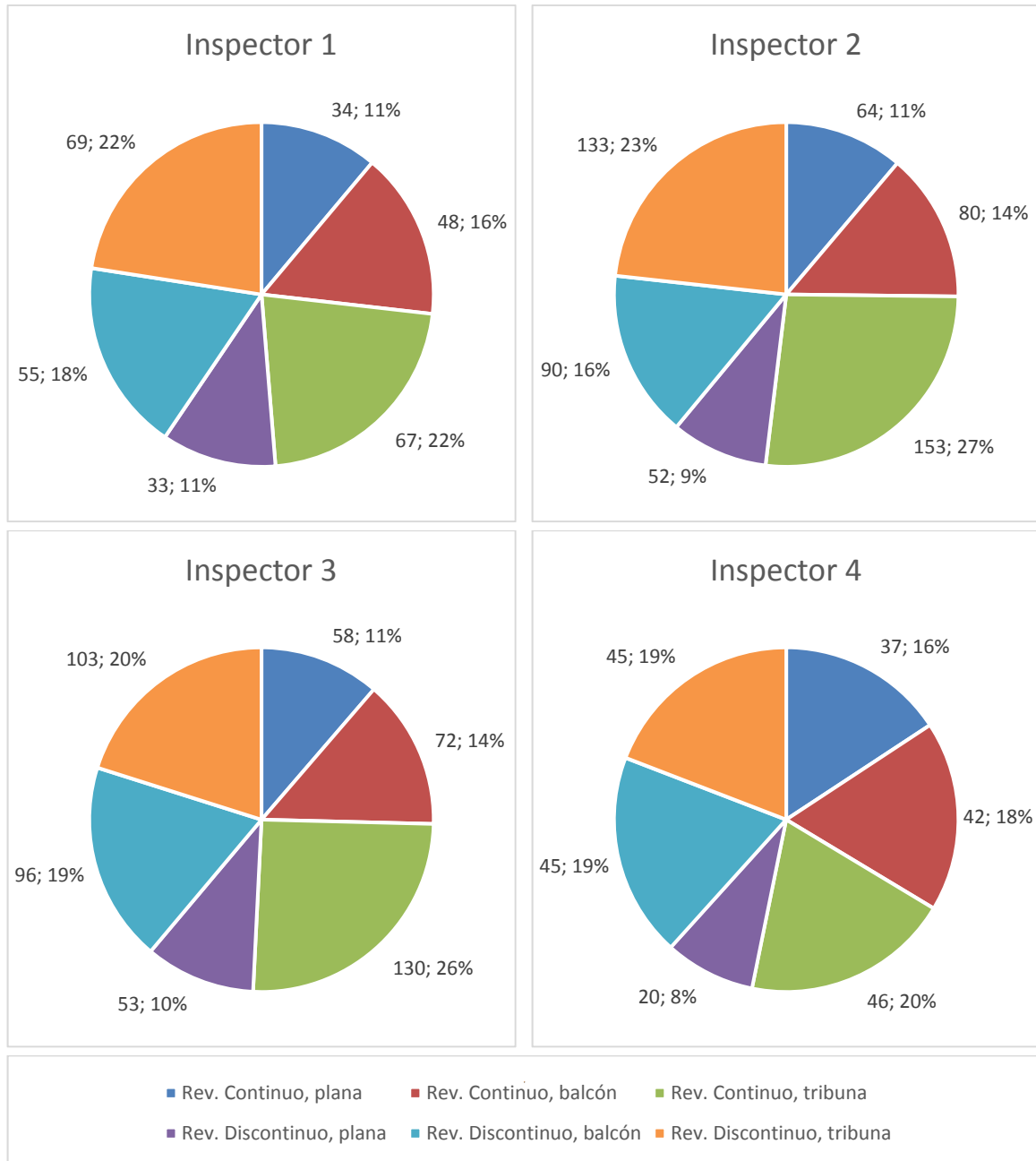


Figura 4.8 Número (y porcentaje) total de lesiones según la tipología de fachada para cada inspector.

En términos relativos, se puede destacar que los inspectores detectan, en general, más lesiones en revestimientos continuos en tribunas, seguidos de los revestimientos discontinuos, también, en tribunas. En los revestimientos discontinuos en fachada plana, en general, se observan menos lesiones.

Así mismo se analizó la distribución de las lesiones en función de la tipología de lesión para cada inspector (Figura 4.9).

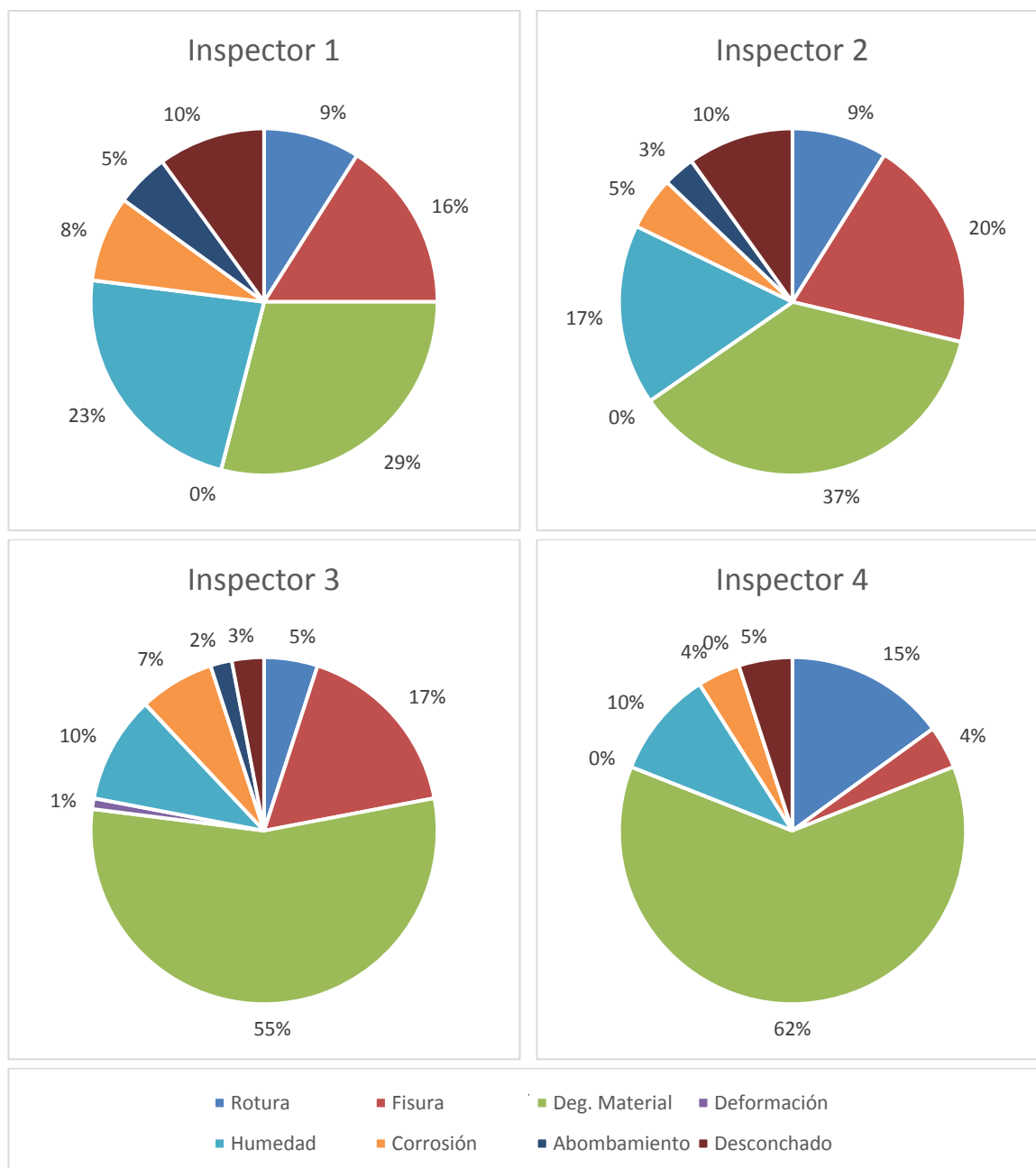


Figura 4.9 Distribución de las lesiones detectadas según la tipología de lesión para cada inspector

La lesión más detectada por los inspectores es la degradación de material, sin embargo, existe una gran diferencia entre los inspectores 1 y 2 en comparación con el 3 y el 4, los dos primeros declaran que de todas las lesiones detectadas prácticamente un tercio son degradación de material, en cambio, los dos últimos inspectores declaran hacerlo en más de la mitad de todas las detectadas. Los inspectores 1, 2 y 3 declaran la fisura, la segunda lesión más detectada, a diferencia del inspector 4, que observa como segunda lesión predominante en la muestra la rotura. Todos los inspectores coinciden en la deformación como lesión menos detectada.

Para el análisis de la varianza se ponderó la gravedad, o magnitud, estudiando, por un lado, las valoraciones de un conjunto de elementos de fachada por cada tipología de lesión, y por otro, las valoraciones del conjunto de lesiones por cada elemento de fachada.

Para determinar si un factor tiene diferencia significativa o no en los resultados de la variable que se esté analizando se utiliza el *p-valor*. Según el modelo propuesto, se asume un intervalo de confianza del 95%, por lo tanto, el índice que marca cuando hay influencia significativa corresponde a un *p-valor* < 0,05. Sin embargo, para un mayor nivel de precisión se consideraron los tres valores frontera habituales para el *p-valor*:

- $p\text{-valor} > 0,05$  No hay diferencias significativas.
- \*  $0,01 < p\text{-valor} < 0,05$  Hay diferencias poco significativas.
- \*\*  $0,001 < p\text{-valor} < 0,01$  Hay diferencias medianamente significativas.
- \*\*\*  $p\text{-valor} < 0,001$  Hay diferencias muy significativas.

Considerando sólo aquellas lesiones y elementos en los que había suficiente número de observaciones por parte de los técnicos, se estudió la significación del efecto inspector en la observación de la lesión estimando el correspondiente modelo lineal general. La Tabla 4.8 muestra el recuento de la significación obtenida agrupada por tipología de lesión.

Lesiones	Nivel de significación				Totales
	-	*	**	***	
Desprendimientos	8	4	1	0	13 (11,1%)
Fisuras	11	3	6	2	22 (18,8%)
Degradación del material	5	7	7	9	28 (23,9%)
Deformaciones	3	0	0	0	3 (2,6%)
Humedades	15	3	4	2	24 (20,5%)
Corrosiones	2	1	0	1	4 (3,4%)
Abombamientos	8	0	0	0	8 (6,8%)
Desconchados	13	1	1	0	15 (12,8%)
<b>Totales</b>	<b>65 (55,6%)</b>	<b>19 (16,2%)</b>	<b>19 (16,2%)</b>	<b>14 (12,0%)</b>	<b>117 (100%)</b>

Tabla 4.8 Significación (recuento y porcentajes marginales) del efecto inspector agrupado por tipología de lesión

De las 117 parejas de elementos-lesiones que se analizaron, en 65 (55,6%) no se detecta efecto inspector (en otros términos, no hay diferencias significativas entre inspectores), mientras que en las 33 (44,4%) restantes sí lo hay. Este resultado no es del todo alarmante, pero pone en evidencia una fuerte variabilidad entre inspectores.

En cuanto a las lesiones, las deformaciones y los abombamientos son las que presentan menos variabilidad de opinión de los inspectores, aunque también son, junto a las corrosiones, las que tienen menos presencia, aunque esta última presenta más variabilidad que las dos primeras. Las lesiones con más presencia son la degradación del material, las humedades y las fisuras, siendo la degradación del material la lesión que presenta una variabilidad muy significativa en cuanto a las valoraciones.

El objetivo y metodología de esta sección ha dado lugar al Trabajo Final de Máster en Edificación de [Sagués \(2015\)](#), en el cual se analizó y se extrajeron los datos que ayudan a describir la variabilidad de los datos recogidos en las inspecciones cuando éstas se realizan por distintos técnicos.

### **Conclusiones y aportaciones de mejoras**

La realización de esta *prueba piloto* y el análisis de los datos recogidos de las inspecciones hechas por distintos técnicos con experiencia en inspecciones de fachadas, ha permitido concluir qué grado de fiabilidad tienen los datos, así como establecer algunas mejoras a realizar en las inspecciones para perfeccionar su calidad.

La metodología empleada para realizar las inspecciones visuales de la muestra de 60 fachadas sigue los mismos patrones que la que se debe usar a nivel macroescala, es decir, la ficha de inspección LABEDI, con la diferencia, que a nivel poblacional se incluye la inspección de la fachada principal. Esta metodología ha demostrado ser significativamente útil y eficaz para estudiar grandes parques edificados.

Como se ha visto, la variabilidad de opinión de los inspectores es más alta de lo que se desearía, tanto en la cantidad de lesiones detectadas por cada uno de ellos, como la cuantificación que le asignan, debido, como se ha detectado, a que los inspectores no tienen la misma interpretación de los criterios de evaluación. A modo de ejemplo, para una misma lesión en una fachada en concreto, un inspector la situó en un paramento, mientras que otro inspector la situó en el revestimiento, y un tercero la marcó en el paramento y en el revestimiento. Este hecho, sumado a la valoración personal sobre cada lesión, favorece a la gran variabilidad de opinión de los inspectores, por lo que se plantea incidir con más claridad en estos apartados en el período de formación.

Una mejora en el proceso de formación de los inspectores encargados de realizar las inspecciones *in situ* es establecer los criterios de observación y evaluación de los diferentes tipos de lesión, así como definir detalladamente, incluso con el soporte de una ilustración, los elementos y materiales que se puedan encontrar generalmente en una fachada.

Sería importante, también, modificar el diseño de la ficha de campo, dado que al analizar los datos recogidos de las inspecciones de los diferentes técnicos, se ha detectado que existe duplicidad de los elementos de inspección, es decir, un mismo elemento puede tener dos materiales

diferentes, por ejemplo, un aplacado puede ser de piedra natural y otro cerámico, o una baranda puede ser metálica y otra de fábrica.

Otro aspecto a considerar es el concepto de fiabilidad de la información. El proceso entre la toma de datos in situ y el tratamiento y análisis posterior es muy largo, en el transcurso del cual participan distintos actores que manipulan de forma manual gran cantidad de datos, así como el traspaso de los mismos de un programa informático a otro de forma no automática. Este hecho hace inevitable que en algún punto de la cadena pueda existir un error humano, lo que provocaría cierta pérdida de fiabilidad de la información.

### 4.3. Documento final para la inspección

En base a los requerimientos exigidos, a los análisis previos realizados y las recomendaciones que se desprenden de los apartados anteriores, la investigación propone un nuevo documento que incorpore mejoras en la fase de inspección, bajo un enfoque posibilista, de los objetivos de control del frente urbano edificado.

Aceptando que muchas de las argumentaciones que están formuladas en la ficha del Laboratorio de Edificación se adecuan a los planteamientos que persigue la Tesis Doctoral, se entenderá que las mejoras planteadas no desvirtúen en esencia su formato actual. Sin embargo sobre él se han planteado aportaciones tanto desde el punto de vista descriptivo del edificio, que ayudarán a su clasificación posterior, como organizativo en la detección de las lesiones observadas en las fachadas.

La exigencia de universalidad del frente urbano que se ha marcado el SPM/D/FUE impone que las fichas de inspección de campo, dispongan de ciertos grados de flexibilidad en la recogida de los datos de interés en cada ciudad inscrita en su laboratorio urbano. En este sentido se proponen unos campos abiertos dentro de cada ficha de inspección para que puedan ser adaptados a las necesidades específicas de distintos modelos de fachadas. Por ello la estructura esquemática prevista para recoger los requerimientos generales y específicos ha evolucionado hacia los contenidos que se muestran en la ficha de información general. En la Figura 4.10 se ven los campos que dan respuesta a las necesidades territoriales básicas de situación y a la descripción constructiva del edificio que contiene la fachada, datos sobre el técnico inspector y posibles casuísticas que emerjan de las reinspecciones sucesivas de control.

En la ficha de descripción de las características de la fachada también se mantiene unos apartados predefinidos, en las casillas destinadas a los contenidos, pero con libertad en los mismos para ser adaptados en función de los elementos de interés, las lesiones más significativas (que pueden variar de un entorno urbano a otro), las magnitudes de afectación con posibilidad de reescalar los porcentajes de impacto de éstas y, por último, las celdas que permiten introducir gravedades en base a distintos estadios de gravedad. Sin embargo en primer lugar es preciso clasificar la fachada bajo unos estándares fijados por su acabado, ya sea continuo o discontinuo,

así como si existe presencia de elementos en voladizo. La Figura 4.11 muestra el formato que adquiere la nueva ficha.

Sin duda, como así ha quedado demostrado, para sustentar la veracidad de los datos obtenidos en las prospecciones por parte de los inspectores, se ha creado una nueva documentación que va dirigida exclusivamente a esa figura y permite incorporar análisis de resultados de posibles dispersiones entre inspectores. En la Figura 4.12 se recogen los datos que se precisan para identificar a los inspectores y poder vincularlos con las fachadas que han inspeccionado ejerciendo un futuro control sobre el conjunto de ellos.

En definitiva la metodología de inspección que se ha diseñado, para posibilitar el estudio del comportamiento de la durabilidad a gran escala de los frentes urbanos, muestra en su conjunto una flexibilidad tal que le permite adaptarse a una estructura universal capaz de ser implantado en la mayoría de ciudades del mundo incidiendo en el concepto de Colaboratorio que inspira la presente investigación y recoger aquellos puntos de interés propuestos por los responsables de la gestión urbana.

MODELO F/ES - 28/07/2015

<b>INFORMACIÓN GENERAL</b>	<b>SPM/D/FUE</b>	<b>LABORATORIO URBANO</b>
----------------------------	------------------	---------------------------

<b>DATOS DE CAMPO</b>	<b>DATOS INSPECTOR</b>
-----------------------	------------------------

CIUDAD: \_\_\_\_\_  
 DISTRITO: \_\_\_\_\_  
 BARRIO: \_\_\_\_\_  
 DIRECCIÓN: \_\_\_\_\_ NÚM.: \_\_\_\_\_  
 NUEVA DIRECCIÓN: \_\_\_\_\_ NÚM.: \_\_\_\_\_

FECHA CONSTRUCCIÓN (dd/mm/aaaa): \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_  
 FECHA PRIMERA INSPECCIÓN (dd/mm/aaaa): \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

<b>TIPO DE PROMOCIÓN</b>	
PÚBLICA	PRIVADA

<b>TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA</b>		
UNIFAMILIAR		
PLURIFAMILIAR		
AISLADA		
ENTRE MEDIANERAS		
TIPO DE USO	MAYORITARIO	
VIVIENDA		
COMERCIAL		
INDUSTRIAL		
<b>DISTRIBUCIÓN</b>		
NÚM. PLANTAS	Sb.R	Bj.R
NÚM. DE ESCALERAS		
NÚM. DE VIVIENDAS		
NÚM. VIV. / PLANTA		
NÚM. LOCALES		
ASCENSOR		
PARKING		
NÚM. FACHADAS		

<b>REMontAS</b>	
AÑO DE REMONTA	
PLANTAS REMONTADAS	
NÚM. VIVIENDAS PLANTA	

<b>INSTALACIONES FACHADA</b>		
GAS	TV	ELECTRIC.
TLF	A.A.	BAJANTES
ALUM. PÚBLICO		OTROS

<b>CARACTERÍSTICAS DEL SOLAR</b>	<b>ESQUEMA DE PLANTA</b>
----------------------------------	--------------------------

<input type="checkbox"/> Edificios afectados por Normas	
<input type="checkbox"/> Edificio abandonado	
<input type="checkbox"/> Solar con valla	
<input type="checkbox"/> Edificio en construcción	
<input type="checkbox"/> Fachada en rehabilitación	

<b>PI.</b>	<b>SECCIÓN ESQUEMÁTICA</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
		Generales
		Cuerpo
		Balcones
		Tribunas

Figura 4.10 Ficha de información general optimizada



CARACTERÍSTICAS FACHADA			REVESTIMIENTO	CON	DIS	MORFOLOGÍA			FB	FT	OT
DIRECCIÓN	Nº	FAC. Nº	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	...	...	L <sub>n</sub>	
			P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	
<b>PARTE 1</b>											
<b>PARTE 1.1</b>											
<b>PARTE 1.2</b>			P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	
PARTE 1.2.1											
PARTE 1.2.2											
<b>PARTE 1.3</b>											
<b>PARTE 2</b>			L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>	...	...	L <sub>n</sub>	
			P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	P   L   G	
<b>PARTE 2.1</b>											
PARTE 2.1.1											
<b>PARTE 2.2</b>											
PARTE 2.2.1											
<b>PARTE 2.3</b>											

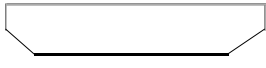
 <p>C/ACCESO EDIFICIO</p>		<b>TIPO DE LESIÓN</b> L <sub>1</sub> L <sub>5</sub> L <sub>2</sub> ... L <sub>3</sub> ... L <sub>4</sub> L <sub>n</sub>	<b>MAGNITUD</b> P PUNTUAL L LOCAL G GENERAL	<b>GRAVEDAD</b> 1 SÍNTOMA      5 MUY GRAVE 2 LEVE            6 EXTREMA 3 MODERADA 4 GRAVE
--	--	---	--	---

Figura 4.11 Ficha de información específica de la fachada optimizada

### FORMULARIO DE ALTA DE INSPECTOR

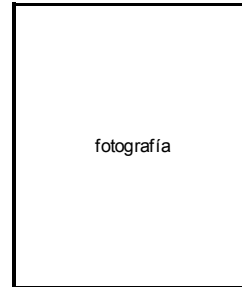
Fecha de alta (dd/mm/aaaa)\*: \_\_ / \_\_ / \_\_\_\_

ID Inspector.: \_\_\_\_\_

### DATOS PERSONALES

\* Los campos con asterisco son obligatorios

Nombre\*: \_\_\_\_\_  
 1º Apellido\*: \_\_\_\_\_  
 2º Apellido\*: \_\_\_\_\_  
 Fecha de nacimiento\* (dd/mm/aaaa): \_\_ / \_\_ / \_\_\_\_ Sexo\*: \_\_\_\_\_  
 Nacionalidad\*: \_\_\_\_\_ DNI / NIF: \_\_\_\_\_  
 Teléfono: \_\_\_\_\_ Móvil: \_\_\_\_\_  
 e-mail: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_  
 C.P.: \_\_\_\_\_ Municipio: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_



### DATOS ACADÉMICOS

Indique al menos una titulación

Titulación 1\*: \_\_\_\_\_ Año de finalización: \_\_\_\_  
 Centro Académico: \_\_\_\_\_  
 Titulación 2: \_\_\_\_\_ Año de finalización: \_\_\_\_  
 Centro Académico: \_\_\_\_\_  
 Titulación 3: \_\_\_\_\_ Año de finalización: \_\_\_\_  
 Centro Académico: \_\_\_\_\_

### OBSERVACIONES

---

---

---

---

---

---

---

---

*Figura 4.12 Ficha de recogida de datos relativa al inspector*

Nos gustaría resaltar que la estructura presentada para las inspecciones de fachadas urbanas, en este formato de fichas, está perfectamente preparada para poder ser implementada en un formato digital (tipo Tablet), capaz de transferir los datos de campo directamente a la base de datos del SPM/D/FUE de cualquier ciudad integrada en la red del Colaboratorio. Este hecho es de suma importancia para proporcionar mayor rapidez durante la recogida de los datos, tanto en las primeras inspecciones como en las futuras reinspecciones, de un parque edificado extenso que requiere ser controlado con una cierta asiduidad.

#### 4.3.1. Fichas de inspección adaptadas

A partir de la base de datos existente sobre primeras inspecciones de fachadas en la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat, que van a ser reinspeccionadas, se ha adaptado el documento a los requerimientos que en su día plantearon los responsables municipales. Este sigue manteniendo dos fichas, la primera de ellas corresponde a las descripciones generales vinculadas al edificio, inspector y tipo de inspección como se puede observar en la Figura 4.10 con respecto a la ficha anterior del LABEDI se han eliminado los campos de datos cartográficos y catastrales pues esta información quedará registrada de forma automática, en cada ciudad de estudio, por la base de datos del propio SIG implementado. En cuanto al nuevo módulo creado para las reinspecciones, en distintas etapas del proceso de seguimiento, van a resultar claves para permitir un control de las fachadas a lo largo del tiempo y sus transiciones. Otra de las mejoras aplicadas consiste en incorporar referencias fotográficas en cada uno de los elementos fragmentados de la fachada. Evidentemente estas incorporaciones contribuyen de forma significativa a mejorar la antigua estructura de la ficha de LABEDI, que no resultó ser suficientemente contrastable según las valoraciones obtenidas, en los estudios comparativos realizados, en el conjunto de fichas analizadas.

Respecto a la segunda ficha, que parte de la matriz generada en la Figura 4.11 y se centra en aspectos de interés específicos de elementos de la facha, también se han incorporado algunas mejoras de estructura que facilitan inspecciones metódicas. Estas incorporaciones añaden la dirección de la calle referenciada al número de fachada sobre la que se está actuando, sitúa los elementos con idéntica función que son dispares por el tipo de material que los conforma, redistribuye los bloques de información centrando el objetivo principal sobre los elementos sujetos a prospección, de los cuerpos salientes, formados por balcones y tribunas.

Otro apartado que se ha ordenado, para el caso de este estudio de investigación, consiste en la clasificación de las disfunciones observadas, subdividiéndolo en familias de lesiones mecánicas, químicas y físicas, según las categorías que se han argumentado en la clasificación de los fenómenos de degradación en consecuencia a su vulnerabilidad. Por último en la plantilla de recogida de datos de las lesiones, magnitudes y gravedades se dispone de casillas de validación, que el inspector puede emplear para dejar constancia fotográfica del estado en que se ha encontrado alguna lesión en concreto y facilitar el contraste de su evolución en posteriores inspecciones.

Con la incorporación de las mejoras efectuadas no tan solo se ha obtenido una herramienta de inspección capaz de alcanzar los objetivos prefijados, en el apartado de obtención de datos, además se consigue una ficha afable al uso, fácil de cumplimentar y con plena eficiencia en cuanto a los logros preestablecidos. La Figura 4.13 muestra la nueva ficha adaptada al caso en estudio dentro de esta Tesis Doctoral.

CARACTERÍSTICAS FACHADA			REVESTIMIENTO			CON			DIS			MORFOLOGÍA			FB	FT	OT															
DIRECCIÓN	Nº	FAC. Nº	De			F			A			Ds			Df			DM			C			H								
			P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G	P	L	G
<b>CUERPO</b>																																
PARAMENTOS-ZB																																
PARAMENTOS-ZM																																
HUECOS																																
DINTELES-ZB																																
JAMBAS-ZB																																
DINTELES-ZM																																
JAMBAS-ZM																																
ANTEPECHOS																																
<b>REVESTIMIENTOS</b>																																
DISCONTINUO																																
APLACADO-ZB																																
APLACADO-ZM																																
CONTINUO																																
REVOCO																																
ESTUCADO																																
ESGRAFIADO																																
ACABADO																																
<b>BARANDILLA DE CUBIERTA</b>																																
PARAMENTO-1																																
PARAMENTO-2																																
APLACADO																																
REVOCO																																
REMATE																																
<b>CUERPOS SALIENTES</b>																																
<b>BALCONES</b>																																
LOSAS-1																																
LOSAS-2																																
CANTOS																																
BAJOBALCÓN																																
BARANDILLAS																																
PARAMENTO-1																																
PARAMENTO-2																																
APLACADO																																
REVOCO																																
REMATE																																
<b>TRIBUNAS</b>																																
LOSA																																
CANTOS																																
BAJOTRIBUNA																																
PARAMENTO-1																																
PARAMENTO-2																																
APLACADO																																
REVOCO																																
ESTUCADO																																
ESGRAFIADO																																
ACABADO																																
HUECOS																																
DINTELES																																
JAMBAS																																
ANTEPECHOS																																
<b>OTROS ELEMENTOS</b>																																
ZÓCALO																																
MÉNSULAS																																
CORNISAS																																
ALEROS																																
PESCANTES																																
OTROS																																

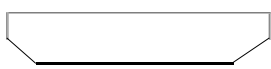
 <p>C/ACCESO EDIFICIO</p>						<b>TIPO DE LESIÓN</b> De DESPRENDIM.    Df DEFORMACIÓN F FISURAS        DM DEGRAD. MAT. A ABOMBAMIENTO    C CORROSIÓN Ds DESCONCHADO    H HUMEDAD						<b>MAGNITUD</b> P PUNTUAL L LOCAL G GENERAL			<b>GRAVEDAD</b> 1 SÍNTOMA    5 MUY GRAVE 2 LEVE        6 EXTREMA 3 MODERADA 4 GRAVE					
--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--

Figura 4.13 Ficha LABEDI de información específica optimizada

## Capítulo 5

# TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA Y PREDICCIÓN DE LESIONES

Actualmente el mantenimiento de los edificios es una labor importante a realizar en los edificios existentes para garantizar el funcionamiento, durante su vida útil, de todo el conjunto de elementos que los forman y aumentarla dentro de sus posibilidades.

El propósito de este capítulo es introducir técnicas de análisis sobre el conocimiento de la vida útil de aquellos elementos constructivos que interfieren de forma directa en la durabilidad de una edificación, centrándonos concretamente en las fachadas, estudiando la evolución de la degradación de las lesiones que puedan llegar a sufrir. Estas técnicas se plantean para ser aplicadas a nivel multiescala, de manera que los resultados que se extraigan proyecten el estado de las fachadas del parque edificado estudiado, pudiendo plantear modelos de gestión de mantenimiento sobre las fachadas de las edificaciones existentes para mejorar su respuesta frente a la seguridad y obsolescencia técnica.

Es importante destacar que para el tipo de variable que nos interesa, un tiempo hasta un evento, que es positiva, continua y sujeta a censura, no es posible abordar el problema de la estimación bajo enfoques tradicionales. En este sentido, técnicas habituales de regresión multivariante para la estimación de los modelos o análisis de componentes principales no son de aplicación por el supuesto que tienen de normalidad en las variables y observación completa de las mismas (no en un intervalo derivado del proceso de inspección, como será nuestro caso).

Por otra parte, la no existencia de estudios previos de análisis del tiempo hasta la lesión con información censurada conlleva el no disponer de modelos paramétricos preliminares que puedan guiar la investigación predictiva. Así pues, nuestro enfoque será totalmente no paramétrico, aprendiendo de los datos y sin imponer asunciones paramétricas imposibles de validar. Los resultados obtenidos de la aproximación no paramétrica pueden servir para ulteriores propuestas de modelos paramétricos útiles en este campo.

A lo largo del capítulo se introducirán conceptos y técnicas propias del análisis de la supervivencia para su orientación y aplicación en estudios de durabilidad para el tiempo hasta la lesión en las fachadas del frente urbano. Más detalle sobre los aspectos teóricos pueden encontrarse en las referencias básicas de [Bickel y Doksum \(2015\)](#) y [Klein y Moeschberger \(1977\)](#). Sobre los aspectos más aplicados y adaptados a la predicción sobre el parque edificado se han desarrollado, a lo largo del proyecto vinculado con esta Tesis Doctoral, diversos trabajos académicos (descritos en el Anejo A.2). De ellos, y referidos a este capítulo cabe mencionar [Martín \(2004\)](#), como primera adaptación de estas técnicas en el contexto edificatorio y [Moreno \(2013\)](#) por su análisis e implementación del estimador de Turnbull.

## 5.1. Introducción al análisis de la supervivencia

Según la *International Organization for Standardization* (ISO), la calidad es el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades, implícitas y explícitas, al usuario. En el caso de un edificio, las necesidades a satisfacer son, entre otras, seguridad, durabilidad, funcionalidad (implícitas) y cualquier necesidad que la propiedad exprese (explícitas). Presentamos a continuación conceptos y definiciones básicas en el área del análisis de la supervivencia.

### Fallo o lesión

La durabilidad incorpora el concepto de fallo, entendiendo como tal el principio de una posible avería que comporta el fin de la aptitud de un elemento para realizar su función. Es por ello que la durabilidad se ha de medir estadísticamente, ya que elementos de idénticas características sometidos a usos iguales poseen una durabilidad diferente, es decir, la durabilidad es variable de una entidad a otra, no pudiendo medir exactamente cuándo se va a producir su disfunción.

### Durabilidad y Función de Supervivencia $S(t)$

La durabilidad, en ingeniería, se define como la probabilidad de que un elemento realice su función bajo determinadas condiciones de funcionamiento, durante un periodo de tiempo establecido. Genéricamente, si denominamos  $T$  al tiempo hasta la ocurrencia de un suceso de interés (generalmente el fallo o aparición de la lesión del elemento en estudio), considerando  $T$  como una variable aleatoria continua y no negativa,  $T \geq 0$ , entonces  $S(t)$  se define como

$$S(t) = P(T > t). \quad (1)$$

Es decir,  $S(t)$  es la probabilidad de que un elemento sobreviva más de  $t$ , o lo que es lo mismo, la probabilidad de que falle después de  $t$  (o en otros términos, que no haya fallado antes de  $t$ ). Si  $f(t)$  denota la función de densidad de probabilidad de los tiempos de fallo y por  $F(t)$  la función de distribución, entonces la función de supervivencia  $S(t)$  es la complementaria de  $F(t)$ .

Esta distribución de probabilidad se puede caracterizar mediante estadísticos tales como la vida media, la tasa de fallo, la durabilidad en un momento determinado, su distribución de cuartiles o percentiles, etc.

### Tasa de fallo y Función de riesgo

Para el análisis de procesos de duración, resulta especialmente indicada la tasa de fallo (*failure rate*), también llamada cuota de fallo, la cual representa la proporción de unidades de un producto que fallan por unidad de tiempo. Cuando la tasa de fallo es en función del tiempo  $t$  se designa por  $h(t)$  y se denomina función de riesgo (*hazard function*).

Esta función tiene un interés particular en aplicaciones de supervivencia ya que es una característica de durabilidad que puede interpretarse como la velocidad de degradación o la intensidad con la que se producen los fallos de un elemento en un momento de tiempo  $t$ .

La tasa de fallo es una magnitud recíproca de la vida media. La vida es un tiempo medio por fallo, por lo tanto la tasa de fallo real para un intervalo de tiempo de  $t_1$  a  $t_2$  se define como

$$h(t_1, t_2) = \frac{[S(t_1) - S(t_2)] / S(t_1)}{t_2 - t_1} = \frac{S(t_1) - S(t_2)}{(t_2 - t_1) S(t_1)}. \quad (2)$$

Donde,  $S(t_1) - S(t_2)$  representa la proporción de supervivientes totales que, habiendo sobrevivido al instante  $t_1$ , han fallado en el intervalo  $t_1$  a  $t_2$ . Al dividir esta diferencia por  $S(t_1)$  se obtiene la proporción de individuos que no habiendo fallado en el instante  $t_1$  sí lo hacen en el intervalo de tiempo entre  $t_1$  a  $t_2$ ,

$$\frac{S(t_1) - S(t_2)}{S(t_1)} \quad (3)$$

es la probabilidad condicionada de que un elemento que haya sobrevivido al instante  $t_1$  falle en el intervalo  $(t_1, t_2)$ . Finalmente, al dividir por la longitud del intervalo de tiempo, se obtiene la intensidad por unidad de tiempo.

Cuando  $t_2$  tiende a  $t_1$  y se reduce la longitud del intervalo, se obtiene como límite la tasa de fallo instantánea,

$$h(t_1) = \lim_{t_2 \rightarrow t_1} \frac{S(t_1) - S(t_2)}{(t_2 - t_1)S(t_1)} = -\frac{S'(t_1)}{S(t_1)}. \quad (4)$$

Sabiendo que

$$S(t) = 1 - F(t) \quad (5)$$

y

$$S'(t) = -F'(t) = -f(t), \quad (6)$$

el riesgo instantáneo, o tasa de fallo instantánea o función de riesgo,  $h(t)$ , puede definirse como

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}. \quad (7)$$

Finalmente, a partir de la expresión anterior puede deducirse la tasa de fallo acumulado o el riesgo acumulado  $H(t)$ :

$$H(t) = \int_0^t h(u) du = \int_0^t -\frac{dS(u)}{S(u)} du = -[\log S(u)]_0^t = -\log S(t). \quad (8)$$

Obsérvese que a partir de la igualdad anterior, es posible expresar la función de supervivencia  $S(t)$  en función de la función de riesgo acumulado  $H(t)$ :

$$S(t) = e^{-H(t)}. \quad (9)$$

Cuando se está estudiando la evolución de la degradación de un elemento se puede estimar la función de riesgo considerando una serie de individuos en condiciones similares, de modo que si se quiere modelizar matemáticamente el tiempo de vida, una estimación natural de la función de riesgo es el número de recaídas por unidad de tiempo ocurridos en cada intervalo de observación.

En principio cualquier tasa de fallo puede ser adecuada dependiendo del modelo a estimar, sin embargo, en el momento de elegir el modelo adecuado a la función de riesgo, conviene tener en cuenta que en la práctica la mayoría de los casos presentan tres períodos de tiempo diferenciados.



Un primer período de vida, llamado *fallo inicial* o *período de fallo precoz*, durante el cual la tasa de fallo decrece con el tiempo. En el ámbito de la construcción, por ejemplo, generalmente se manifiestan tasas de fallo elevadas al inicio de la vida de un edificio, posiblemente debidas a errores comunes producidos en la fase de ejecución, y a medida que los productos defectuosos van fallando, la tasa de fallo disminuye, es decir, la velocidad de los fallos se reduce.

A la siguiente etapa se le llama *fallo accidental* o *período de fallo con tasa constante* y ocurre durante el período de tiempo en el que el elemento presenta una función de riesgo aproximadamente constante, normalmente menor que la que tiene durante la etapa inicial. En este intervalo de tiempo el desgaste sufrido por el elemento se puede obviar por ser muy pequeño.

Tras un período de funcionamiento del elemento, la tasa de fallo vuelve a incrementarse en el tiempo. Es el conocido *efecto envejecimiento* o *período de fallo por desgaste*, el cual se asocia con el deterioro o desgaste gradual que sufre el elemento y se entra en el período en que se incrementa el número de elementos que fallan.

La evolución de un elemento ideal podría presentar los tres tipos de función de riesgo y en el orden descrito anteriormente. En este caso, un el modelo seleccionado para ilustrar matemáticamente su tiempo de funcionamiento debería tener una función de riesgo  $h(t)$  que por su apariencia es conocida como *Curva de Bañera*, tal y como muestra la Figura 5.1 .

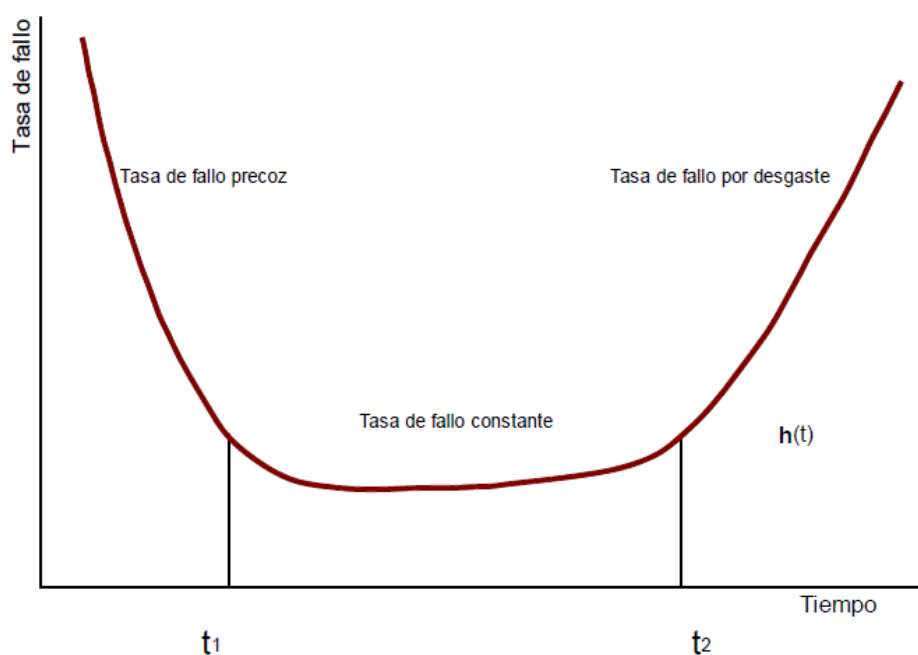


Figura 5.1 Curva de la bañera para la función de riesgo  $h(t)$

Todas estas tendencias o suposiciones de la evolución de la degradación de los elementos de la construcción no disponen de un fundamento estadístico. Es por ello que se hace necesario el estudio de la durabilidad para poder determinar y afirmar si la tendencia de la distribución de la

tasa de fallos de los edificios se asemeja a la curva de la bañera anteriormente mencionada. En concreto, esta tesis se centra en analizar la tendencia de las fachadas de los edificios existentes en un parque edificado. Por todo ello es conveniente la creación de herramientas estadísticas, y facilitar la aplicación de éstas en el mundo de la construcción.

## 5.2. Concepto de censura

El análisis de la durabilidad tiene una característica fundamental que lo diferencia de otras técnicas estadísticas, y es que la durabilidad se mide en tiempo y, por lo tanto, no se puede estudiar igual que el resto de variables, ya que el tiempo exacto en el que los elementos que forman parte del estudio experimentan el suceso de interés es difícilmente conocido; habitualmente sólo se sabe si los elementos han experimentado el fallo o no.

El concepto de censura aparece por el hecho de que los fallos de los elementos no ocurren al cabo de un plazo establecido y, por lo tanto, la información relacionada con el tiempo de fallo es parcialmente conocida. Lo que se sabe es que el suceso de interés se ha producido antes del momento de inspección o, por lo contrario, no se ha producido.

En este contexto, la durabilidad observada de un elemento hasta el instante de su fallo es solo conocida por ser entre la fecha de su nacimiento o puesta en servicio, y el momento exacto en el que ha sido inspeccionado. Por ejemplo, suponemos que se inspecciona una fachada en un cierto tiempo y se observa que tiene una lesión, por lo tanto ha fallado, esto indica sólo podemos dar por cierto que la fachada ha fallado entre la fecha de su creación y el momento de inspección.

Si denominamos  $C_i$  a la edad que tiene el individuo  $i$  de la muestra en el momento de la inspección y suponiendo que  $T_i$  es la variable tiempo hasta la lesión del elemento en cuestión, suelen darse varios tipos de censura en base a la información recogida y que se describen en los siguientes apartados.

### Censura por la izquierda

Una observación  $i$  se dice que es censurada por la izquierda si el fallo de dicho elemento ha ocurrido antes de ser inspeccionado, es decir, en el momento de la inspección se ha detectado la lesión de interés. Para estos individuos el hecho de que haya fallado es conocido, pero respecto al momento exacto  $T_i$  en que falló sólo se sabe que se encuentra en el intervalo  $(0, C_i)$ . Este tiempo también se puede expresar como  $C_i^-$  (caso 1 de la Figura 5.2).

### Censura por la derecha

Si por el contrario en el momento de la inspección del elemento  $i$  no se detecta el fallo, entonces el tiempo hasta la lesión sigue siendo desconocido por lo que el tiempo  $T_i$  se encuentra entre la

edad del individuo en el momento de la inspección y el infinito, es decir  $(C_i, \infty)$ . Análogamente al caso anterior este tiempo puede expresarse como  $C_i^+$  (casos 2 y 3 de la Figura 5.2).

### Censura en un intervalo

Los datos censurados en un intervalo se obtienen si existen al menos dos tiempos de inspección diferentes,  $t_k$  y  $t_{k'}$ , con  $t_k < t_{k'}$ , y el fallo se produce entre estos dos tiempos. Es decir, una observación censurada en un intervalo se da cuando en la realización de la primera inspección del elemento no se ha observado el fallo o la lesión, en este sentido, para este primer tiempo se trata de un dato censurado por la derecha y su durabilidad  $T_i$  se sitúa entre  $(C_{ki}, \infty)$ , donde  $C_{ki}$  es la edad del elemento en el momento de la inspección  $t_k$ . Si se realiza una nueva inspección en el momento  $t_{k'}$  y se observa que ha fallado, la durabilidad de este elemento respecto a la nueva inspección se sitúa en  $(0, C_{k'i})$ , siendo  $C_{k'i}$  la edad del elemento en el momento de la inspección  $t_{k'}$ , por lo tanto, con sólo la inspección en el momento a  $t_{k'}$  se trataría de una observación censurada por la izquierda. Ahora bien, analizando las dos inspecciones conjuntamente, se puede afirmar que la lesión o fallo ha ocurrido entre los tiempos de inspecciones  $t_k$  y  $t_{k'}$ , por ello su durabilidad se sitúa en el intervalo  $(C_{ki}, C_{k'i})$  (Caso 4 de la Figura 5.2).

Se podría dar la circunstancia de disponer de una observación exacta como caso particular de la censura en un intervalo. Este tipo de dato se da cuando justo en el momento de la inspección se produce el fallo del elemento, y por lo tanto se puede afirmar que la durabilidad de ese individuo se sitúa en el intervalo de tiempo  $(C_i, C_i)$ , o simplemente  $C_i$  (Caso 5 de la Figura 5.2). Esta situación es difícilmente observable en nuestro caso, dado el comportamiento de los elementos de las fachadas, por lo que esta tipología de observación se considerará por omisión.

En la Figura 5.2 se muestran las distintas tipologías de datos para representar el concepto de censura aplicado a la edificación, en el que se sitúa el año de construcción del edificio, como momento 0 en la vida del elemento y dos instantes en que se realiza una inspección ( $t_1 = 1950$  y  $t_2 = 1990$ ) en el eje de las abscisas.

Con la finalidad de ilustrar el beneficio de realizar más de una inspección a los elementos que forman parte del estudio se ha preparado la Figura 5.3. En el eje de las abscisas se muestran las edades y se grafican dos intervalos o semirrectas que corresponden a la información proporcionada por los dos tiempos de inspección para los casos de la Figura 5.2, (en azul para la primera inspección, en verde después de la segunda inspección).

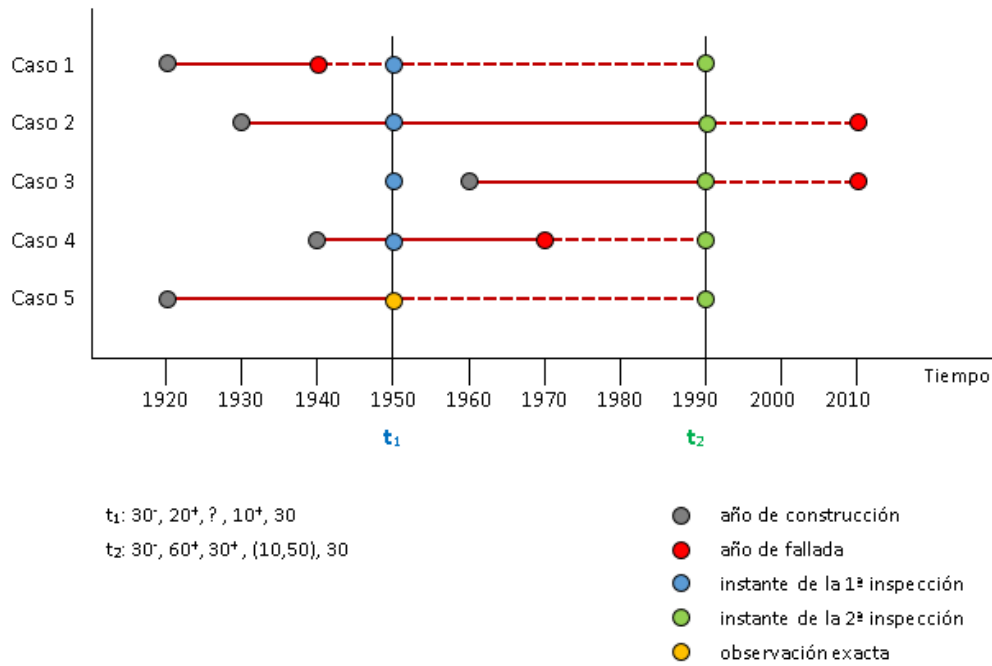


Figura 5.2 Tipologías de datos censurados a partir de las inspecciones en los momentos  $t_1$  y  $t_2$

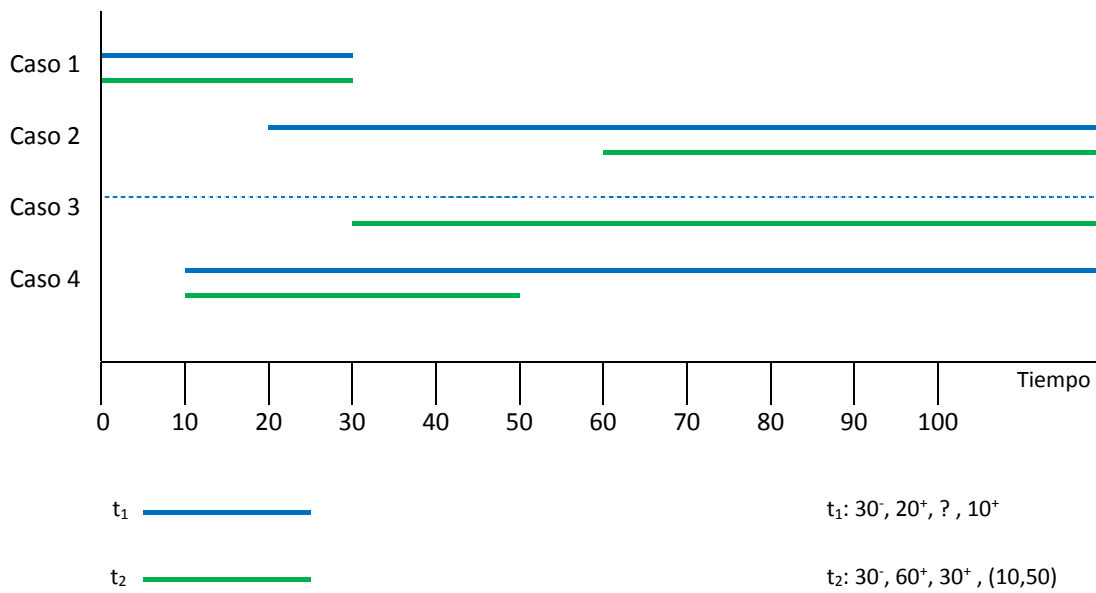


Figura 5.3 Evaluación de más de una inspección

En el caso 1 la información proporcionada por ambas inspecciones es la misma, puesto que en el momento de la primera inspección ya se detectó el fallo, por lo tanto, una inspección posterior no facilita ninguna información nueva al respecto de la durabilidad del elemento en cuestión. En cambio, en el caso 2, una segunda inspección aumenta la precisión de la durabilidad del elemento en 40 años, puesto que la primera inspección indica que el individuo fallará a partir de los 20 años y la segunda, al no detectarse el fallo, indica que lo hará a partir de los 60. El caso 3 es un ejemplo

obvio de que una segunda inspección mejora la información referente a la durabilidad, dado que en una primera inspección el elemento a estudiar no existía. El caso 4 es la situación perfecta, se produce cuando entre una inspección y otra sucesiva se produce el fallo o lesión, por lo tanto, la durabilidad queda acotada en un intervalo de tiempo. El caso 5 de la Figura 5.2 no se ha reflejado por tratarse de una observación exacta, similar al caso 1, pero con la diferencia de ser un valor exacto  $(30, 30)$ , que se representaría con un punto.

En todos los casos queda ilustrada la potencial mejora, así como que un plan adecuado de inspecciones periódicas disminuye los efectos negativos de la censura en un intervalo (en particular la variabilidad de las estimaciones resultantes) al reducir la amplitud de los intervalos. [Serrat \(2010\)](#) propone estimaciones óptimas para los tiempos entre inspecciones en función de los modelos subyacentes en las distribuciones de los tiempos de fallo.

Con carácter general, los cuatro tipos de censura explicados se pueden pensar como censurados en un intervalo  $(L_i, R_i)$ , donde los extremos vienen dados por las edades de los individuos en los distintos momentos de inspección. En particular, los intervalos censurados por la izquierda serán aquellos con  $L_i = 0$ , *i.e.*  $(0, R_i)$ , los censurados por la derecha aquellos de la forma  $(L_i, \infty)$ , y las observaciones exactas serán un caso particular de censura en un intervalo cuyos extremos toman el mismo valor, es decir,  $L_i = R_i$ . Esta notación es la que se usará de aquí en adelante para el desarrollo de este capítulo.

### 5.3. Estimación de la función de Supervivencia para datos censurados por la derecha

Para estimar la función de supervivencia en el caso de datos censurados por la derecha, [Kaplan y Meier \(1958\)](#) propusieron un estimador no paramétrico que se conoce también como estimador del límite del producto. El estimador de Kaplan y Meier está basado en un producto de probabilidades condicionadas.

Sea  $T_1, T_2, \dots, T_n$  una muestra de población y  $C_1, C_2, \dots, C_n$  variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. Supondremos que los tiempos de censura,  $C_1, C_2, \dots, C_n$ , no están relacionados con los tiempos potenciales de fallo,  $T_1, T_2, \dots, T_n$ , lo que se conoce como que la censura no es informativa.

La hipótesis de censura no informativa es relevante en el sentido que es la que permite pensar que el mecanismo que provoca la censura, en nuestro caso los tiempos de inspección, no está correlacionado con los tiempos de fallo.

Los datos observados consisten en parejas de la forma  $(Y_1, \delta_1), \dots, (Y_n, \delta_n)$  donde  $Y_i = \min \{ T_i, C_i \}$ , es decir, es el mínimo entre el tiempo de censura y el tiempo de fallo,

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{si } T_i \leq C_i, \text{ indicando un individuo no censurado} \\ 0 & \text{si } T_i > C_i, \text{ indicando un individuo censurado} \end{cases} \quad (10)$$

Consideremos el estadístico de orden  $Y_{(1)} < Y_{(2)} < \dots < Y_{(n)}$  y definimos  $\delta_{(i)}$  como el valor de  $\delta$  asociado con  $Y_{(i)}$ . Usaremos la notación  $t_{max}$  para indicar el máximo de las observaciones sean observadas o censuradas, es decir,  $t_{max} = Y_{(n)}$ , y  $t_{ult}$  para indicar el máximo de los tiempos de fallo  $t_{ult} = \max_{\delta_i=1}\{Y_i\}$ .

Consideremos los intervalos aleatorios entre observaciones consecutivas  $I_i = (t_{i-1}, t_i] = (Y_{(i-1)}, Y_{(i)})$ ,  $i = 1, \dots, n$ . En el supuesto que no haya empates, estos intervalos contienen exactamente un valor observado. Cuando  $\delta_{(i)} = 1$  el intervalo  $I_i$  contiene un tiempo de fallo y cuando  $\delta_{(i)} = 0$  el intervalo  $I_i$  contiene un tiempo de censura.

Se denomina conjunto a riesgo en el momento  $t$ , al conjunto formado por todos los individuos vivos que no han fallado y de los que se tiene información justo antes del momento  $t$ . En la misma línea, denotaremos:

$n_i$  = Número de individuos a riesgo, es decir, que no han fallado, justo antes de  $Y_{(i)}$

$d_i$  = Número de individuos que fallan en el momento  $Y_{(i)}$

Si denotamos por  $p_i$  la probabilidad condicionada de sobrevivir al intervalo  $I_i$  dado que el individuo está a riesgo al inicio de  $I_i$  y por  $q_i$  su complemento a 1,

$$p_i = P(T > t_i | T > t_{i-1}) \quad (11)$$

y

$$q_i = 1 - p_i = \frac{P(t_{i-1} < T \leq t_i)}{P(T > t_{i-1})}, \quad (12)$$

tenemos que pueden estimarse respectivamente por:

$$\hat{q}_i = \frac{d_i}{n_i} = \frac{d_i}{n - i + 1} = \frac{1}{n - i + 1} \quad (13)$$

y

$$\hat{p}_i = \begin{cases} 1 - \frac{1}{n_i} & \text{si } \delta_{(i)} = 1 \\ 1 & \text{si } \delta_{(i)} = 0 \end{cases}. \quad (14)$$

Tomando la función de durabilidad como producto de probabilidades, el estimador de Kaplan y Meier (KM) es:

$$\hat{S}(t) = \prod_{i:Y_{(i)} \leq t} \hat{p}_i = \prod_{i:Y_{(i)} \leq t} \left(1 - \frac{1}{n_i}\right) = \prod_{i:Y_{(i)} \leq t} \left(1 - \frac{1}{n-i+1}\right)^{\delta_{(i)}} = \prod_{i:Y_{(i)} \leq t} \left(\frac{n-i}{n-i+1}\right)^{\delta_{(i)}}. \quad (15)$$

El estimador de Kaplan y Meier ofrece una función escalonada que solamente salta en los tiempos de fallo. La magnitud del salto depende, no sólo del número de eventos observados en cada tiempo de fallo, sino también del número de individuos censurados por la derecha antes del tiempo de salto dado que también están a riesgo.

El estimador para el caso en que hay empates se puede deducir a partir de la Ecuación (15), como el productorio de probabilidades en los intervalos, si se supone que justo antes del momento  $t$  hay  $n_i$  individuos que no han fallado y en el momento  $t$  se producen  $d_i > 1$  fallos, y se subdivide el intervalo  $I_i$  en  $d_i$  intervalos infinitesimales de manera que

$$\begin{aligned} \hat{p}_i &= \left(1 - \frac{1}{n_i}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{n_i-1}\right) \cdots \left(1 - \frac{1}{n_i - (d_i - 1)}\right) \\ &= \left(\frac{n_i-1}{n_i}\right) \cdot \left(\frac{n_i-2}{n_i-1}\right) \cdots \left(\frac{n_i-d_i}{n_i-d_i+1}\right) = \frac{n_i-d_i}{n_i} = 1 - \frac{d_i}{n_i}. \end{aligned} \quad (16)$$

Si hay empates entre observaciones censuradas y observaciones no censuradas se considera que las no censuradas han sucedido antes que las censuradas. Si ahora  $Y_{(1)} < Y_{(2)} < \cdots < Y_{(r)}$  es el estadístico ordenado correspondiente a los  $r$  tiempos de observación diferentes, el estimador de Kaplan y Meier admite la siguiente forma general para todo  $t \leq t_{\max}$ , es decir, para todo  $t$  en el rango en el que ha habido seguimiento:

$$\hat{S}(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } t < Y_{(1)} \\ \prod_{i:Y_{(i)} \leq t} \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right)^{\delta_{(i)}} & \text{si } t \geq Y_{(1)} \end{cases}. \quad (17)$$

De esta forma, el estimador queda definido para todo tiempo menor que el mayor de los tiempos observados en el estudio  $t_{\max}$ . Y además, si  $t_{\max}$  coincide con un tiempo de fallo, es decir si  $t_{\max} = t_{\text{ult}}$ , entonces el estimador de Kaplan y Meier salta hasta 0 en la última observación y por tanto  $\hat{S}(t) = 0$  para todo  $t > t_{\max}$ . En cambio, si el último está censurado, es decir,  $t_{\max} = Y_{(n)}$

con  $\delta_{(n)} = 0$ , entonces  $\hat{S}(t)$  es constante e igual a  $\hat{S}(t_{ult})$ , supervivencia al tiempo del último fallo observado, para todo  $t_{ult} < t < t_{max}$ , y no está definido después de  $t_{max}$ .

Para la varianza del estimador de Kaplan y Meier se encuentran en la literatura diversos estimadores. Una primera propuesta es el conocido como fórmula de Greenwood (Klein y Moeschberger, 1997) que tiene la siguiente expresión:

$$\hat{V}_G(\hat{S}(t)) = (\hat{S}(t))^2 \cdot \sum_{i:Y(i) \leq t} \frac{d_i}{n_i(n_i - d_i)}. \quad (18)$$

Obsérvese que en la cola de la función de supervivencia, para valores bajos de ésta y escaso número de individuos a riesgo, la estimación de la variabilidad es alta

### 5.3.1. Ejemplo ilustrativo I. Estimador de Kaplan y Meier

A continuación se desarrolla un supuesto sobre el cálculo del estimador de Kaplan y Meier en el caso de datos censurados por la derecha.

Los datos que se muestran a continuación corresponden a la valoración de 11 fachadas en las cuales se realiza una inspección y se detecta la existencia, o no, de fisuras en el revestimiento de revoco. Los datos, en meses, son los siguientes:

9, 13, 13+, 18, 23, 28+, 31, 34, 45+, 48, 161+,

donde, con un signo +, se denotan los tiempos censurados por la derecha y el resto son tiempos observados de fallo.

La Figura 5.4 ilustra la información observada en nuestra muestra (en rojo tiempos de fallo, en azul tiempos censurados). Con esta información, la Tabla 5.1 muestra la aplicación de la Ecuación (17) para los datos de nuestro ejemplo.

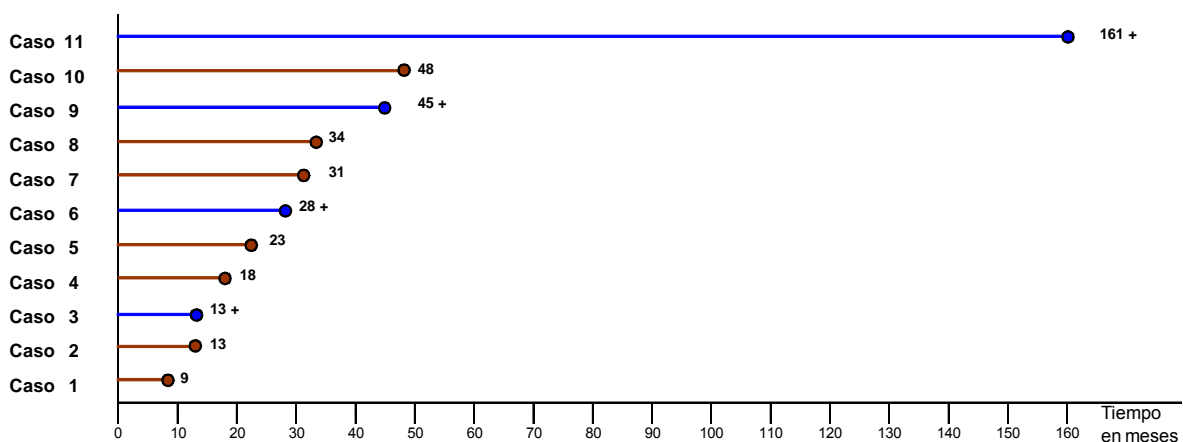


Figura 5.4 Representación gráfica de los datos obtenidos a partir de las inspecciones



Tiempos $t$	Nº a riesgo $n_t$	Nº fallos $d_t$	Durabilidad estimada $\hat{S}(t)$
0	11	0	1
9	11	1	$\hat{S}(0) \cdot \left(1 - \frac{1}{11}\right) = 0,909$
13	10	1	$\hat{S}(9) \cdot \left(1 - \frac{1}{10}\right) = 0,818$
18	8	1	$\hat{S}(13) \cdot \left(1 - \frac{1}{8}\right) = 0,716$
23	7	1	$\hat{S}(18) \cdot \left(1 - \frac{1}{7}\right) = 0,614$
31	5	1	$\hat{S}(23) \cdot \left(1 - \frac{1}{5}\right) = 0,491$
34	4	1	$\hat{S}(31) \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 0,368$
48	2	1	$\hat{S}(34) \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right) = 0,184$

Tabla 5.1 Estimador de Kaplan y Meier para datos censurados por la derecha

El estimador de Kaplan y Meier utiliza toda la información disponible. En este sentido, es interesante observar los resultados sesgados obtenidos si el investigador no tuviese en cuenta los datos censurados, es decir, si sólo calculara la estimación con tiempos de fallo. De forma errónea la Tabla 5.1 pasaría a ser la Tabla 5.2 en donde no se han tenido en cuenta los datos censurados y se infraestima la supervivencia de forma sistemática.

Tiempos $t$	Nº a riesgo $n_t$	Nº fallos $d_t$	Durabilidad estimada $\hat{S}(t)$
0	7	0	1
9	7	1	$\hat{S}(0) \cdot \left(1 - \frac{1}{7}\right) = 0,857$
13	6	1	$\hat{S}(9) \cdot \left(1 - \frac{1}{6}\right) = 0,714$
18	5	1	$\hat{S}(13) \cdot \left(1 - \frac{1}{5}\right) = 0,571$
23	4	1	$\hat{S}(18) \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right) = 0,428$
31	3	1	$\hat{S}(23) \cdot \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 0,285$
34	2	1	$\hat{S}(31) \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\right) = 0,143$
48	1	1	$\hat{S}(34) \cdot \left(1 - \frac{1}{1}\right) = 0$

Tabla 5.2 Estimador de Kaplan y Meier sin considerar datos censurados

La Figura 5.5 muestra el estimador Kaplan y Meier, así como las bandas de confianza al 95% estimadas con la fórmula de Greenwood de la Ecuación (18). Nótese que a) los datos censurados (indicados con + en el gráfico) están a lo largo del periodo de seguimiento y b) que la variabilidad en la cola es muy alta por el reducido número de individuos a riesgo.

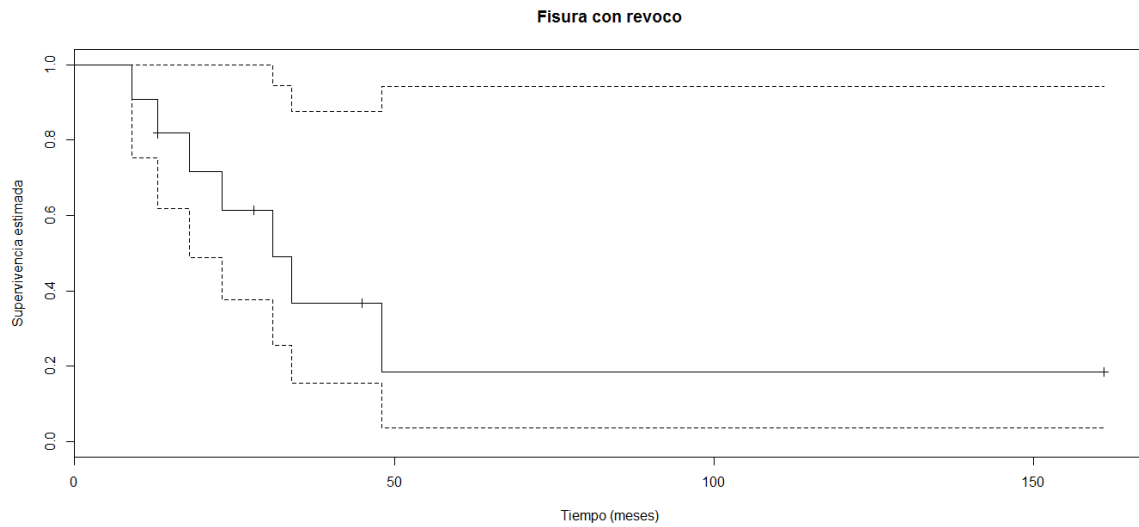


Figura 5.5 Estimador de Kaplan y Meier con bandas de confianza al 95%

#### 5.4. Estimación de la función de Supervivencia para datos censurados en un intervalo.

Para el caso de datos censurados en un intervalo el planteamiento de la estimación de la función de supervivencia será desde la perspectiva de maximización de la función de verosimilitud (Bickel y Doksum, 2015; Klein y Moeschberger, 1977). En otros términos, estimar la distribución no paramétrica que hace más probable que nuestros datos provengan de ella. Más concretamente, optimizaremos la función de verosimilitud no paramétrica definida por el producto de los incrementos de la función de distribución a lo largo del tiempo para nuestros datos.

Así pues, la función de verosimilitud no paramétrica en función de la distribución  $F(t)$ , para unos datos  $\{(l_i, r_i)_{i=1, \dots, n}\}$  será:

$$L = \prod_{i=1}^n (F(r_i) - F(l_i)). \quad (19)$$

En particular, si nos preocupamos en separar cada tipo de censura la Ecuación (19) se podría reescribir como:

$$L = \prod_{i \in O} (F(r_i) - F(l_i^-)) \prod_{i \in R} (1 - F(l_i)) \prod_{i \in L} F(r_i) \prod_{i \in I} (F(r_i) - F(l_i)) \quad (20)$$

Donde  $O$  es el conjunto de las observaciones observadas,  $R$  es el conjunto de las observaciones censuradas por la derecha,  $L$  es el conjunto de las observaciones censuradas por la izquierda e  $I$  es el conjunto de las observaciones censuradas en un intervalo.

Las contribuciones de cada tipo de observación a la función de verosimilitud  $L$  son:

- $F(r_i) - F(l_i^-)$ , probabilidad de fallada de una observación dada en el instante  $r_i = l_i$ .
- $1 - F(l_i)$ , supervivencia de un dato que aun no ha fallado en el instante  $l_i$ .
- $F(r_i)$ , probabilidad de fallada acumulada en el instante  $r_i$ , de un dato censurado por la izquierda en el instante  $r_i$ .
- $F(r_i) - F(l_i)$ , probabilidad de fallar entre los instantes  $l_i$  y  $r_i$ , para un dato censurado en un intervalo.

Turnbull (1976) propuso un método para maximizar la función de verosimilitud definida en la Ecuación (20) y que dio nombre al estimador.

#### 5.4.1. El estimador de Turnbull

El algoritmo presentado por Turnbull para obtener un estimador no paramétrico de la función de supervivencia para datos censurados es un método iterativo, según el cual el algoritmo, después de ciertas iteraciones, converge cuando los valores obtenidos en estas repeticiones no tienen diferencias significativas, de acuerdo a la tolerancia prefijada por el investigador. Esta maximización se lleva a cabo considerando tanto los datos censurados por la izquierda, por la derecha como los datos censurados en un intervalo y sin suponer ninguna parametrización específica para la función de distribución  $F$ .

Supongamos que se tienen  $n$  observaciones formadas por intervalos  $(L_i, R_i)$  con  $i = 1, \dots, n$  que representan la observación censurada en un intervalo de los respectivos tiempos de interés, es decir, el intervalo de tiempo en el que sabemos con probabilidad 1 que sucederá.

Turnbull demostró que el óptimo de la Ecuación (20) se consigue dando masa probabilística positiva solo a un número finito,  $m$ , de intervalos disjuntos que se llaman intervalos de Turnbull, y que se denotan por  $(q_j, p_j]$  con  $j = 1, \dots, m$ . Concretamente, si se suponen los conjuntos  $\mathcal{L} = \{L_i : i = 1, \dots, n\}$  y  $\mathcal{R} = \{R_i : j = 1, \dots, n\}$  ordenados ascendentemente por valores de tiempo, el algoritmo para la obtención de los intervalos de Turnbull es el siguiente:

1. Se ordenan todos los extremos  $L_i$  y  $R_i$  de manera ascendente e identificándolos.
2. Se inicializa el valor  $j$  con  $j = 1$ .
3. Se identifica el extremo derecho del primer intervalo de Turnbull,  $p_j$  con  $j = 1$ , que corresponde al primer elemento del conjunto  $\mathcal{R}$  ordenado ascendentemente.
  - a. Si  $p_j$  corresponde a un elemento de  $\mathcal{R}$  fruto de una observación no exacta, entonces se considera  $q_j$  al máximo de los elementos del conjunto  $\mathcal{L}$  estrictamente inferiores a  $p_j$ , de modo que el intervalo  $j$ -ésimo de Turnbull  $(q_j, p_j]$  queda definido. Si además,  $p_j$  corresponde también a observaciones exactas, entonces incrementamos la  $j$  en una unidad y, haciendo abuso de la notación de intervalo semiabierto-semicerrado, se define el siguiente intervalo de Turnbull  $(q_{j+1}, p_{j+1}]$  con  $q_{j+1} = p_{j+1} = p_j$ .

- b. Si, por lo contrario,  $p_j$  corresponde sólo a observaciones exactas, se define el  $j$ -ésimo intervalo de Turnbull como  $(q_j, p_j]$  con  $(q_j = p_j]$ .
4. Se incrementa  $j$  una unidad,  $j + 1$ .
  5. Mientras exista, se selecciona el primer elemento de  $\mathcal{R}$  estrictamente superior a  $p_{j-1}$  tal que exista un elemento de  $\mathcal{L}$  superior o igual a  $p_{j-1}$  y se identifica como  $p_j$  y se sigue con los pasos 3a y 3b para obtener el siguiente o los dos siguientes intervalos de Turnbull y se vuelve al paso 4.

De este modo se obtienen los  $m$  intervalos de Turnbull con la forma  $(q_j, p_j]$ , para  $j = 1, \dots, m$  tal que  $q_1 \leq p_1 \leq q_2 \leq p_2 \leq \dots \leq q_m \leq p_m$ .

A partir de estos  $m$  intervalos, si se indica las probabilidades de fallo de cada  $j$ -ésimo intervalo de Turnbull por  $\omega_j = P\{q_j < T \leq p_j\} = S(q_j) - S(p_j)$  para  $j = 1, \dots, m$ , el problema de maximizar la función  $L$  de la Ecuación (19) se reduce a maximizar la función de verosimilitud

$$L = L(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m) \quad (21)$$

como función del vector de parámetros  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$ , o en términos logarítmicos

$$l(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m) = \log(L(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)). \quad (22)$$

Si denotamos por  $\hat{\omega} = (\hat{\omega}_1, \hat{\omega}_2, \dots, \hat{\omega}_m)$  el óptimo, y sin pérdida de generalidad para el caso  $q_1 \leq p_1 \leq q_2 \leq p_2 \leq \dots \leq q_m \leq p_m$ , la estimación de máxima verosimilitud de la función de supervivencia será

$$\hat{S}_n(t) = \begin{cases} 1, & \text{si } t \leq q_1 \\ 1 - (\hat{\omega}_1 + \dots + \hat{\omega}_j), & \text{si } p_j \leq t \leq q_{j+1}, j = 1, \dots, m-1, \\ 0, & \text{si } t \geq p_m \end{cases} \quad (23)$$

y queda indefinida en el interior de los intervalos  $(q_j, p_j]$ .

Cuando se representa la función anterior resulta una gráfica escalonada de  $m + 1$  intervalos horizontales, no continuos, como ilustra la Figura 5.6, donde los vacíos corresponden a la no identificación de la distribución en el interior de los intervalos de Turnbull  $(q_j, p_j]$ , para  $j = 1, \dots, m$ . A este gráfico se le conoce como curva de durabilidad.

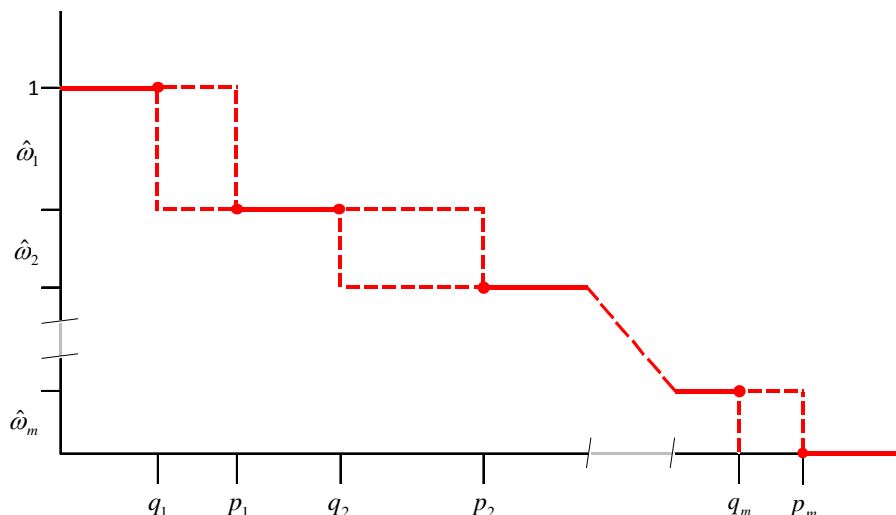


Figura 5.6 Función de supervivencia resultante del estimador de Turnbull

### 5.4.2. Ejemplo ilustrativo II. Cálculo de intervalos de Turnbull

Para ilustrar la construcción de los intervalos de Turnbull, se propone el siguiente ejemplo con las 15 observaciones que se muestran en la Tabla 5.3.

id	left	right
1	0	7
2	4	11
3	8	8
4	17	Inf
5	11	15
6	8	12
7	11	18
8	7	16
9	18	23
10	5	8
11	2	6
12	6	13
13	4	14
14	18	18
15	4	4

Tabla 5.3 Tabla de datos para el ejemplo ilustrativo del estimador de Turnbull

Cada una de las observaciones indica el intervalo de tiempo en el que ha sucedido, o sucederá, el evento de interés. Así pues, disponemos de 3 observaciones exactas (id=3,14,15), 1 observación censurada por la derecha (id=4), 1 observación censurada por la izquierda (id=1) y 10 observaciones censuradas en un intervalo (id=2, 5-13).

Una vez interpretados los datos, se prosigue con la identificación de los extremos izquierdos y derechos como muestra la Figura 5.7 (paso 1 del algoritmo para la construcción de los intervalos de Turnbull).

A continuación se debe establecer el orden entre los extremos izquierdos y derechos que tienen el mismo valor, para identificar cual se debe seleccionar para formar el intervalo de Turnbull.

Para la construcción, todos los intervalos  $(L_i, R_i)$  cumplen  $L_i \leq R_i$ . Por otro lado, para los casos de coincidencia de valor del extremo, se consideran las ordenaciones siguientes:

1. En el caso de una observación exacta  $(L_i, R_i)$  con  $L_i = R_i$ , sus extremos se ordenara como  $L_i \leq R_i$ .
2. Si dos observaciones no exactas  $(L_i, R_i)$  y  $(L_j, R_j)$  con  $i \neq j$ , cumplen  $R_i = L_j$ , estos dos límites se ordenaran como  $R_i \leq L_j$ .
3. Si dos observaciones no exactas  $(L_i, R_i)$  y  $(L_j, R_j)$  con  $i \neq j$ , cumplen  $L_i = L_j$  y  $R_i < L_j$ , los límites izquierdos se ordenaran como  $L_i \leq L_j$ .
4. Si dos observaciones no exactas  $(L_i, R_i)$  y  $(L_j, R_j)$  con  $i \neq j$ , cumplen  $L_i < L_j$  y  $R_i = R_j$ , los límites derechos se ordenaran como  $R_i \leq R_j$ .
5. Si dos observaciones no exactas  $(L_i, R_i)$  y  $(L_j, R_j)$  con  $i \neq j$ , cumplen  $L_i = L_j$  y  $R_i = R_j$ , sus límites se ordenaran indistintamente al tratarse del mismo intervalo.
6. Si tres observaciones; una exacta  $(L_k, R_k)$  y dos no exactas  $(L_i, R_i)$  y  $(L_j, R_j)$ , con  $i \neq j \neq k$ , son tales que  $R_i = L_k = R_k = L_j$ , estos valores se ordenaran como  $R_i \leq L_k \leq R_k \leq L_j$ .

Siguiendo con el Ejemplo II, el valor 4 lo comparten los límites  $L_2, L_{13}, L_{15}$  y  $R_{15}$ . Si se siguen los criterios establecidos anteriormente, la ordenación de estos límites quedaría como  $L_{15} \leq R_{15} \leq L_2 \leq L_{13}$ . El orden de todos los extremos que comparten valor se ven ordenados en la Figura 5.8.

El último paso es la identificación de los intervalos de Turnbull,  $(q_j, p_j]$ , correspondientes. Empezando por el 0 y hacia la derecha, el primer límite izquierdo  $L_i$  tal que le sigue un límite derecho  $R_j$ , será el límite izquierdo del primer intervalo de Turnbull  $q_1$ , y el extremo derecho  $p_1$  corresponderá al propio valor  $R_j$ . En el ejemplo el primer intervalo de Turnbull que obtenemos es el  $(4, 4]$ , el segundo es el  $(5, 6]$  y así sucesivamente.

Por lo tanto, para los datos del Ejemplo II se obtienen los 10 intervalos siguientes:  $\{(q_1, p_1] = (4, 4], (q_2, p_2] = (5, 6], (q_3, p_3] = (6, 7], (q_4, p_4] = (7, 8], (q_5, p_5] = (8, 8], (q_6, p_6] = (8, 11], (q_7, p_7] = (11, 12], (q_8, p_8] = (17, 18], (q_9, p_9] = (18, 18], (q_{10}, p_{10}] = (18, 23]\}$  tal y como quedan representados en la Figura 5.9.

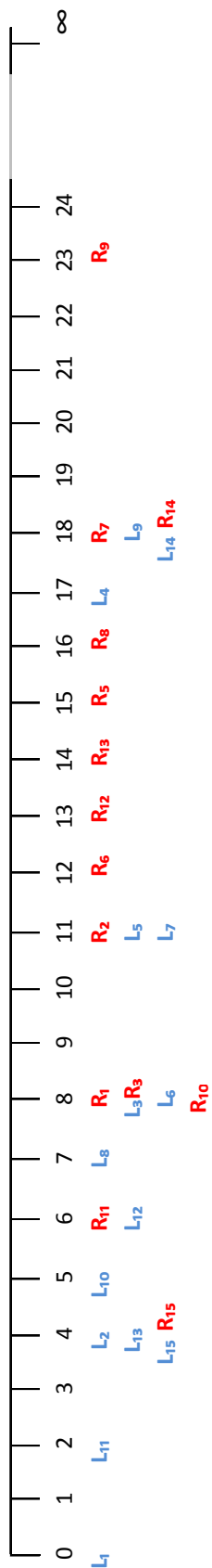


Figura 5.7 Identificación de los extremos de los intervalos de los datos del Ejemplo II (Moreno, 2013)

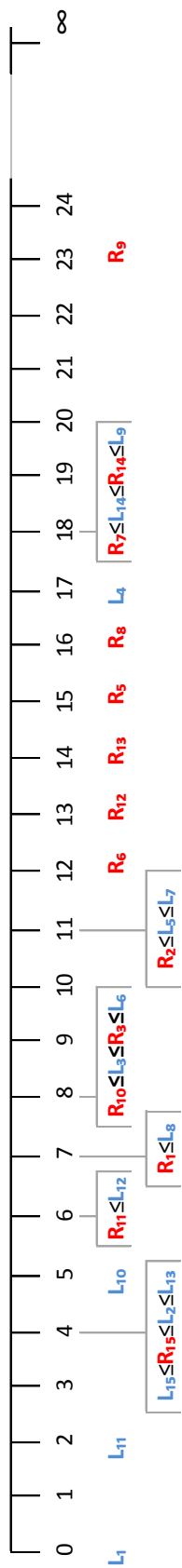


Figura 5.8 Ordenación con criterios de los extremos de los intervalos de los datos del Ejemplo II (Moreno, 2013)

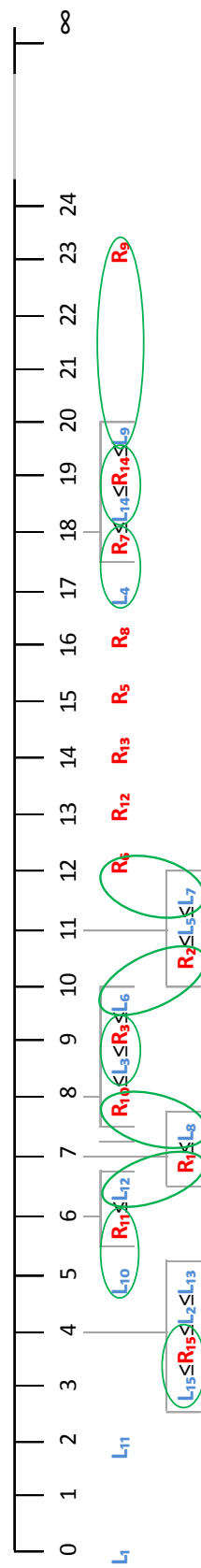


Figura 5.9 Intervalos de Turnbull para los datos del Ejemplo II (Moreno, 2013)

Una vez determinados los intervalos de Turnbull  $(q_j, p_j]$  con  $j = 1, \dots, m$  se puede proceder a la maximización de la función de verosimilitud  $L$  de la Ecuación (19) y calcular qué probabilidad de fallo,  $\hat{\omega}_j$ , tiene cada uno de estos intervalos.

El cálculo del vector no es directo, por este motivo se hace necesario el uso de métodos numéricos implementados en diferentes programas como se verá en la sección siguiente.

### 5.4.3. Implementación e ilustración de la metodología de análisis

Uno de los softwares más utilizados para el análisis de la supervivencia es R ([R Core Team, 2012](#)). R es un programa libre para el análisis estadístico de datos. Es un proyecto de GNU Project, que replica el lenguaje S (base de S-PLUS) ([Venables y Ripley, 1994](#)) en software libre. Fue desarrollado por Bell Laboratories (inicialmente AT&T y en la actualidad Lucent Technologies) por John Chambers y su equipo. Una de sus ventajas es que, desde su creación, muchos usuarios están contribuyendo con librerías y paquetes cada vez más específicos y sofisticados, para la resolución de análisis más complejos.

Existen distintos paquetes dentro del entorno de R que permiten el análisis de la supervivencia. El más utilizado, y que además recibe el estatus de recomendado, es el **survival**. Es una librería desarrollada por [Therneau y Lumley \(2012\)](#) que implementa la mayoría de funciones de análisis de supervivencia. Las funciones del paquete **survival** implementan métodos únicamente para datos censurados por la derecha, por lo tanto, este paquete no es útil para el análisis de la supervivencia cuando se tienen en cuenta todas las tipologías de censura.

Existe otro paquete que necesita de la librería **survival** y tiene diferentes funciones implementadas para calcular estimadores de máxima verosimilitud no paramétricos y que trabaja con datos censurados en un intervalo, llamado **Icens**.

#### El paquete **Icens**

El paquete **Icens** ([Gentlman y Vandal, 2008](#)) al trabajar con datos censurados en un intervalo, incluyendo los casos particulares de censura por la izquierda, censura por la derecha u observaciones exactas, tiene implementadas funciones que permiten calcular los intervalos de Turnbull  $(q_j, p_j]$ , así como obtener las probabilidades de fallo  $\hat{\omega}_j$ , tales como las funciones **MLEintvl()** y **EMICM()**, respectivamente.

La función **MLEintvl()** devuelve, exclusivamente, los  $m$  intervalos de Turnbull para un conjunto de datos entrados en forma de matriz de dos columnas, cuya columna izquierda son los límites izquierdos y la columna derecha los límites derechos correspondientes, como pueden ser los datos de la Tabla 5.3 de la Sección 5.4.2.

Por su parte, la función **EMICM()** es una combinación híbrida del algoritmo *expectation maximization* (EM) ([Dempster et al., 1977](#)) y el algoritmo *Iterative convex minorant*, (ICM)



(Groeneboom y Wellner, 1992) propuesta por Wellner y Zhan (1997), la cual calcula el estimador no paramétrico de máxima verosimilitud (*nonparametric maximum likelihood estimator*, NPMLE), desarrollado por Turnbull (1976). Esta función devuelve, en otros resultados, la estimación no paramétrica de máxima verosimilitud del vector de probabilidades  $\hat{\omega}_j$ , para los  $j = 1, \dots, m$  intervalos de Turnbull.

#### 5.4.4. Ejemplo ilustrativo II. Cálculo del estimador de Turnbull

Siguiendo con los datos del Ejemplo II de la Sección 5.4.2 mediante el programa R y las librerías `survival` e `Icens` y la función `EMICM()`, podemos construir la Tabla 5.4, que muestra los intervalos de Turnbull (las dos primeras columnas) y las probabilidades de fallo para cada uno de ellos (tercera columna). La columna `Cum` muestra las probabilidades de fallo acumuladas.

			EMICM	Cum
[1, ]	4	4	0.1127	0.1127
[2, ]	5	6	0.2136	0.3264
[3, ]	6	7	0.0000	0.3264
[4, ]	7	8	0.0000	0.3264
[5, ]	8	8	0.1518	0.4782
[6, ]	8	11	0.0000	0.4782
[7, ]	11	12	0.3218	0.8000
[8, ]	17	18	0.0000	0.8000
[9, ]	18	18	0.1000	0.9000
[10, ]	18	23	0.1000	1.0000

Tabla 5.4 Intervalos de Turnbull y probabilidades de fallo obtenidos con la función `EMICM` con R para los datos del Ejemplo II

Nótese que los intervalos de Turnbull obtenidos son los esperados, dado que son los mismos que la ilustración de la Sección 5.4.2 donde se explicó la construcción de los mismos. A partir de la Tabla 5.4 obtenemos que el óptimo para  $\hat{\omega}$  es (0.1127, 0.2136, 0.0000, 0.0000, 0.1518, 0.000, 0.3218, 0.0000, 0.1000, 0.1000), que corresponden a los valores de los saltos de la Ecuación (23).

Mediante la sentencia `plot` sobre el objeto devuelto de la función `EMICM()` se obtiene la Figura 5.10.

Obsérvese que en los puntos interiores de los intervalos (5,6], (11,12] y (18,23] la forma de la función de supervivencia (Figura 5.10) no está identificada (rectángulos verdes), mientras sí que lo está en los puntos interiores de los intervalos (6,7], (7,8], (8,11] y (17,18], que en este caso es 0, así como para los datos exactos (4,4], (8,8] y (18,18], cuya probabilidad de fallo es 11,27, 15,18 y 10,00% respectivamente.

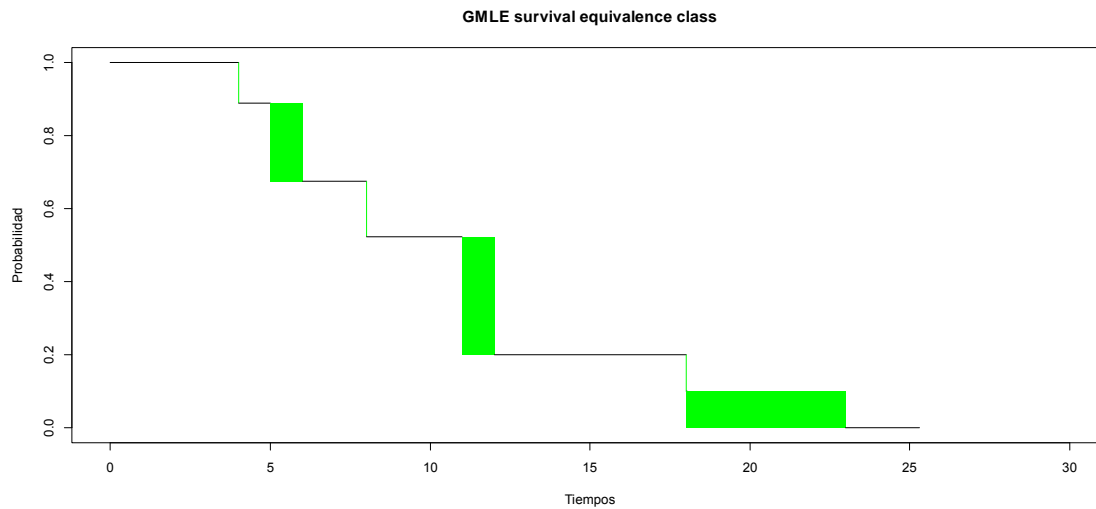


Figura 5.10 Función de supervivencia estimada para los datos del Ejemplo II

Del mismo, puede ser interesante calcular unos percentiles determinados que nos informen de la evolución del evento de interés, así como la distribución de las tasas acumuladas de fallo pudiendo construir tablas como la Tabla 5.5 para los datos del Ejemplo II.

Tiempo hasta un % acumulado de lesiones				% acumulado de lesiones en un tiempo			
10%	25%	50%	75%	5	10	15	20
4,00	5,64	11,07	11,84	11,3	47,8	80,0	94,0

Tabla 5.5 Tiempo hasta un % acumulado de lesiones y % de lesiones en un tiempo

Para el ejemplo se creyó interesante calcular los percentiles 10, 25, 50 y 75, los cuales indican el tiempo que debe transcurrir para que de todos los individuos de la muestra hayan fallado el 10, 25, 50 y 75% respectivamente. Así por ejemplo, para que el 10% de las observaciones del Ejemplo II hayan fallado han tenido que pasar 4.00 unidades de tiempo. Análogamente para los otros porcentajes.

Del mismo modo se analizó el porcentaje de individuos que presentan una lesión a una determinada edad. En el Ejemplo II se preguntó el porcentaje de fallo acumulado cuando los individuos tienen 5, 10, 15 y 20 unidades de tiempo. Así por ejemplo, para los datos en estudio, cuando los individuos tienen 10 unidades de vida, resulta que el porcentaje de individuos que presenta ya el evento de interés es del 47,8%. Análogamente cuando se pregunta cuando los individuos cuentan con 5, 15 y 20 unidades de tiempo de vida.

Hasta este punto se ha visto la tipología de datos objeto de estudio, el estimador de Turnbull que permite estimar la probabilidad de que ocurra un evento de interés, las funciones implementadas en el software R tales que nos permiten calcular y reproducir gráficamente las funciones de durabilidad, así como obtener estimadores de los parámetros que sean de interés, tales como los

tiempos hasta un porcentaje acumulado de lesiones o el porcentaje acumulado de lesiones cuando los elementos cuentan con un tiempo de vida determinado.

### 5.5. Estimación de las curvas de durabilidad para lesiones

Como se ha mencionado en el desarrollo de este trabajo, el objetivo del mismo es estudiar la evolución de la degradación de las fachadas del parque edificado existente. Como se ha comentado en los capítulos 3 y 4, las distintas lesiones interesantes de estudiar se han evaluado según un nivel de magnitud y gravedad.

Como se ha podido ver, las fichas de campo contienen la información referente a la fecha de puesta en servicio del edificio inspeccionado (año de construcción), así como la fecha en que se ha realizado cada inspección, además de informar de qué tipo de lesión se ha observado y qué grado de magnitud y gravedad tienen las mismas. A partir de estas variables, y con interés de ver la evolución en el tiempo de una cierta lesión en función de la magnitud (o gravedad), a partir de las inspecciones podemos obtener intervalos de tiempo para cada fachada.

En particular, si se estudia el tiempo hasta la lesión de los tres niveles de magnitud (análogamente para gravedad) consideradas independientemente, y procediendo con la metodología explicada en la Sección 5.4, se pueden obtener gráficos como el mostrado en la Figura 5.11, donde se aprecian las funciones de supervivencia en función de los tres niveles de magnitud para datos procedentes de inspecciones sucesivas.

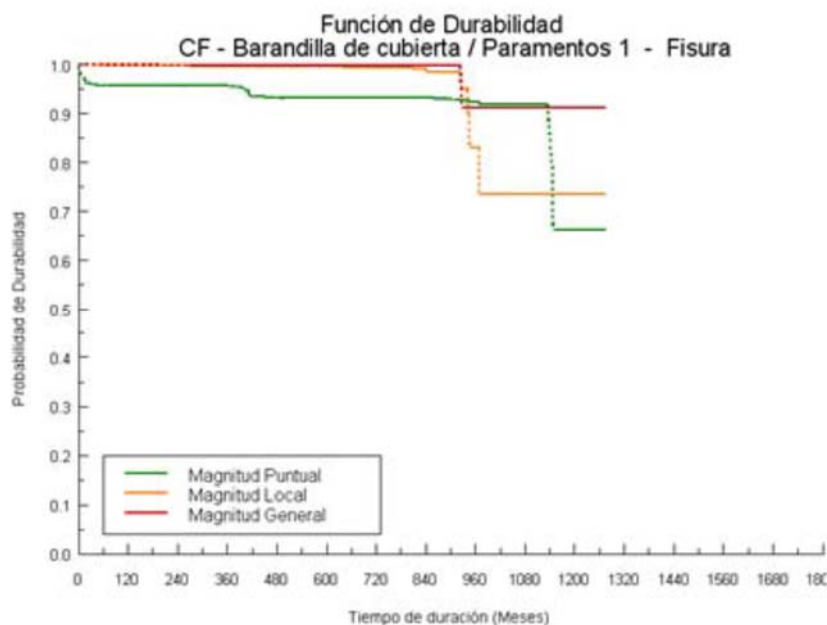


Figura 5.11 Funciones de durabilidad en función de tres niveles de magnitud (Gibert y Royano, 2010)

El análisis en detalle de los resultados numéricos y gráficos para todo el conjunto de lesiones, sobre los distintos elementos de la fachada, permite la confección de un catálogo que informa de la progresión de deterioro del parque edificado.

Este catálogo, junto con técnicas de modelización y clasificación, permite la priorización de intervenciones sobre el frente urbano.

## Capítulo 6

# GESTIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA EN EL ENTORNO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Al plantear un sistema de información que ha de contener grandes bases de datos surgen inevitablemente dudas sobre su almacenamiento y futura gestión a lo largo del tiempo. Evidentemente cuando la investigación propone obtener datos masivos sobre los frentes urbanos, de distintas ciudades del mundo, relacionándolos para ganar conocimiento y experiencias comunes, el reto es aún mayor.

La responsabilidad de garantizar la calidad de la información a lo largo de todo el proceso del sistema SPM/D/FUE, con la posibilidad de realizar varias inspecciones de las fachadas a lo largo del tiempo, ha de mostrar su fortaleza en la variabilidad de selección de las distintas muestras de interés, incorporando situaciones territoriales, características generales del edificio, composición constructiva de las fachadas y su estado de degradación frente al riesgo de siniestro o tiempo de intervención en base a los resultados hallados. Así pues, ha de ofrecer metodología y herramientas de análisis capaces de generar confianza a las administraciones gestoras del patrimonio edificado, para que puedan ser implantadas con resultados precisos.

El conocimiento global de la evolución patológica que surge a lo largo del tiempo en las fachadas de las edificaciones pasa imperativamente por disponer de información precisa, saber gestionarla y analizarla correctamente. Este planteamiento abre las puertas a un profesional especializado,

en el sector de la edificación, capaz de interpretar la información que se puede extraer como analista de datos hacia una gestión basada en la coherencia informativa.

En este capítulo se explora el entorno de los SIG como una herramienta capaz de incorporar mejores resultados, para el fin que se pretende en la investigación, basándonos en la mejora de sus funcionalidades, así como en la exploración de nuevas aportaciones, que se describen en los puntos siguientes:

- Alcanzar una mayor adaptabilidad a ciertas problemáticas al utilizar soportes informáticos con programación abierta.
- Facilitar la resolución de problemas, surgidos de disponer de grandes bases de datos, que parecen no tener respuesta inmediata.
- Posibilitar análisis cuantitativos y cualitativos estadísticos de supervivencia.
- Modelizar parámetros de riesgo y de durabilidad.
- Visualizar resultados plasmados sobre el territorio.
- Flexibilizar la creación y ampliación de bloques en la recogida y entrada de datos, almacenamiento, representación, análisis y gestión de la información.
- Registrar situaciones de crecimiento urbano, eventos climatológicos, infraestructuras de distintos servicios generales, el parque edificatorio con sus singularidades tecnológicas, eventos históricos y catástrofes naturales.
- Compatibilizar su estructura informática con otras plataformas de similares características o complementarias a ella.
- Permitir evolucionar en el conocimiento mediante la comparativa de distintas bases de referencia dentro del propio sistema.

Llegar a disponer de estos potenciales planteados, dentro de cualquier laboratorio urbano, sólo es alcanzable si se aplica o adaptan nuevas tecnologías de la ingeniería informática al sector de la edificación. Este convencimiento, junto a una visión multiescalar que compartimos con [Decker \(1992\)](#) quien opina que, solo trabajando a distintas escalas se puede alcanzar una mejor comprensión de la problemática real a la que nos vamos a enfrentar, nos introduce a las exploraciones que se plantean en este punto de la investigación.

Una estructura de un SIG se basa en los llamados *shapefile*, un conjunto de ficheros con el mismo nombre y diferentes extensiones, definidos a continuación:

- SHP: Se trata del archivo principal, el cual almacena la información geométrica (punto, línea y polígono) en datos vectoriales, es decir, almacena la ubicación, la forma y los atributos de las entidades geográficas.
- DBF: Consiste en una tabla que contiene los atributos de cada elemento.

- SHX: Consiste en un índice de las entidades geométricas que permiten el pareo entre archivos y facilitar las búsquedas dentro del archivo .shp.
- PRJ: Archivo de texto que sirve para almacenar información sobre el sistema de referencia empleado, la proyección que se ha aplicado a las coordenadas para representarlas sobre un plano, las unidades de medida lineales y angulares, etc. Este archivo permite georreferenciar automáticamente los elementos geométricos contenidos en el archivo shape en su posición real sobre el terreno.
- XML: Archivo que almacena los metadatos (descripción de los geodatos) relativos al shape. Los metadatos guardan información sobre el contenido del archivo y su formato.

Como se puede observar en la Figura 6.1, se parte de tres elementos íntimamente relacionados: geometría, tablas y su georreferenciación. A la geometría, la cual puede ser representada por puntos, líneas o polígonos, se le asocian unos atributos, propios de esa geometría, que se almacenan en una tabla, y a su vez, con un posicionamiento geográfico, es decir, conteniendo coordenadas de esas geometrías. Esta tabla puede relacionarse o unirse a otras tablas de atributos externas mediante un identificador único común entre ellas.

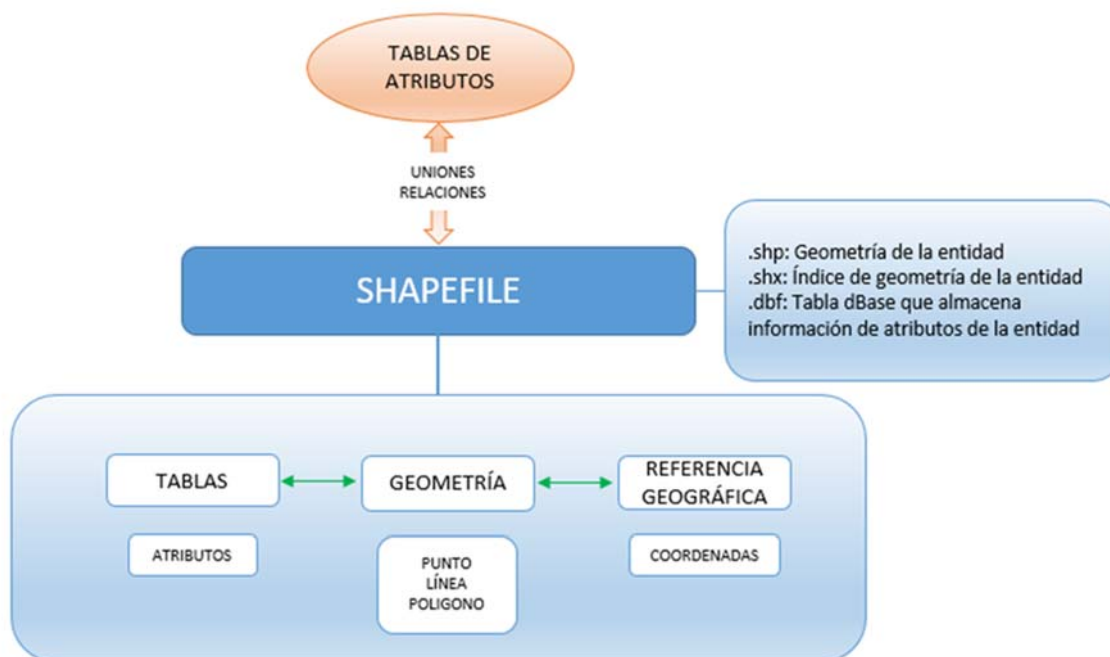


Figura 6.1 Esquema genérico de la estructura SIG

Toda la información es almacenada en una geodatabase (GDB) que, básicamente, contiene información geográfica y atributos, donde la información puede ser estructurada para guardar las relaciones que existen entre los diferentes elementos, así como reglas, relaciones, asociaciones topológicas y elementos orientados a objetos.

Un SIG aporta, pues, multitud de nuevas posibilidades de gestión de la información y en el caso que nos ocupa, como se va a demostrar, son evidentes las mejoras que ello representa. La facilidad de referenciar, como argumenta [Maguire et al. \(1991\)](#), componentes espaciales que responden a la localización y temáticas que muestran el lugar donde ocurre un determinado evento, son las dos condiciones principales que vamos a tratar.

El sistema parte de los condicionantes que se requiere para abordar toda la información disponible de esta investigación, producto de las inspecciones de campo realizadas mediante fichas. Ello obliga a estructurar de forma precisa la relación que se ha de establecer entre las distintas uniones entre las tablas de atributos, el diseño de las geometrías territoriales y cómo se han de relacionar entre ellas para conseguir referencias geográficas del conjunto.

## 6.1. Implementación en ArcGIS

Basándonos en la forma de operar de los SIG, se ha diseñado cual sería la mejor de las estrategias para afrontar la problemática que contemple los frentes urbanos de las ciudades, tomando como programa base ArcGIS [ESRI \(2014\)](#), que debe organizar los datos, tanto gráficos como alfanuméricos, preparados y adaptados para su utilización dentro de este entorno. Para ello vamos a partir de las fichas de inspección de campo en formato papel, presentadas en el Capítulo 4, donde se recogen y recopilan los datos de interés, de las fachadas de los edificios, que posteriormente serán trasladados a unos formatos de tablas con atributos que junto a la información gráfica en formato *shapefile* y las referencias catastrales de todas las parcelas y edificios proporcionada por la Dirección General de Catastro ( [www.catastro.meh.es](http://www.catastro.meh.es) ), formaran la base de la investigación de los frentes urbanos.

La necesidad de organizar, relacionar y adaptar los datos disponibles va a imponer las primeras relaciones, dentro de ArcGIS, entre la información obtenida en campo y su información gráfica georreferenciada.

### 6.1.1. Tratamiento de la información de las inspecciones

La complejidad que implica introducir una gran cantidad de datos directamente a tablas creadas dentro del programa ArcGIS, ha obligado a diseñar una herramienta de entrada en soporte de base de datos (Access) que permitiese un entorno más fácil y amigable. Entendiendo que su diseño debe prever la incorporación de las sucesivas inspecciones realizadas en distintos periodos de tiempo sobre una misma fachada, así como la normalización de los datos a introducir para minimizar errores de transcripción. Así pues, se crea un formulario, que permite rellenar todos los campos existentes en las fichas, partiendo de criterios unificados. Esta base de datos se organiza en un conjunto de tablas, clasificadas por [Castelló \(2013\)](#), donde se distribuye la información recopilada en las fichas de inspección.



El conjunto de tablas se agrupan en dos bloques; el A, que corresponde a toda aquella información general urbanística del edificio al que pertenecen las fachadas y el B, que relaciona estrictamente características constructivas y estados de lesión, dando lugar a un total de diez tablas que se relacionan a continuación:

- A1\_INFO\_GENERAL
- B1\_FACHADA\_CUERPO
- B2\_FACHADA\_HUECO
- B3\_1\_FACHADA\_REVESTIMIENTOS\_DISCONTINUO
- B3\_2\_FACHADA\_REVESTIMIENTOS\_CONTINUO
- B4\_VOLUMETRIAS\_BARANDILLA\_CUBIERTA
- B5\_VOLUMETRIAS\_BALCONES
- B6\_VOLUMETRIA\_BARANDILLAS
- B7\_VOLUMETRIAS\_TRIBUNAS
- B8\_VOLUMETRIAS\_OTROS

Cada una de las tablas anteriores, dentro de la base de datos, restringe el listado de ciertas entradas, como pueden ser los materiales que formalizan los elementos constructivos de la fachada, dejando sólo aquéllos que la praxis establece como habituales, dentro de un proceso constructivo lógico. Otros campos prefijados son los de las lesiones, según han quedado establecidas, los que determinan la magnitud de afectación y la valoración de la gravedad derivada de la lesión observada. Estos condicionantes y la estructura general de la base de datos fueron desarrolladas dentro del proyecto de [Castillo y Franco \(2014\)](#). En el Anejo E se adjunta el catálogo de materiales que se han establecido para cada elemento constructivo de la fachada.

Señalar que todas las tablas creadas disponen de un campo común, REFCAT, proporcionado por la Dirección General de Catastro en formato SIG (geometría georreferenciada con atributos), cuyo formato está compuesto por catorce dígitos (XXXXXXXXXXXX), los siete primeros identifican la finca o parcela y los restantes la hoja del plano en el que está ubicada la propiedad, que definen un identificador único y que servirá para crear las relaciones entre tablas y posteriormente hacer las relaciones con la información georreferenciada.

### **La base de datos**

El formulario creado en la base de datos permite dos acciones; introducir la información recogida a partir de una primera inspección (nueva inspección) o incluir la información recogida por inspecciones posteriores de edificios que ya forman parte de la base de datos. En la Figura 6.2 se ilustra la ventana de inicio de la carga de inspecciones.



Figura 6.2 Formulario de selección de entrada de primeras inspecciones o posteriores

Al seleccionar la opción de ingresar una nueva inspección se activa una pantalla que permite recoger la información general del edificio y que quedará almacenada en la tabla A1\_INFO\_GENERAL. Al final de la pantalla se incluye la posibilidad de seleccionar la introducción de las características constructivas de los distintos elementos en que se ha subdividido la fachada y que se irán almacenando en sus respectivas tablas. En la Figura 6.3 se muestra la ventana con sus campos de introducción de datos y a título de ejemplo en la Figura 6.4 se muestra la ventana que permite la incorporación de datos en la tabla B1\_FACHADA\_CUERPO.

En todos los formularios existen listas desplegables con los diferentes catálogos de materiales y listas condicionadas a selecciones anteriores, como es el caso de la referencia catastral (REFCAT) que se autocompleta al seleccionar la calle y el número de la fachada. Como consecuencia que el identificador del Catastro es único para cada parcela y esta puede contener más de un edificio, obliga a añadir un nuevo valor al código REFCAT para identificar a cada uno de los edificios, esta casuística crea otro código RECAT\_C formado por REFCAT+E0X (XXXXXXXXXXXXXXXXX\_E0X), siendo E0X el nombre que corresponde al edificio y que puede estar comprendido entre E01, E02, E03, E04, E05 y E06, según la verificación asignada por el inspector.

Para introducir información adicional en las inspecciones realizadas sobre un edificio existente, en la base de datos, se ofrecen dos posibilidades; modificar o validar la información general almacenada en A1\_INFO\_GENERAL, ya sea por detectar un cambio al realizar la posterior inspección (por ejemplo, en una inspección previa se detectó que la parcela estaba vallada y en la nueva inspección no se ha observado el vallado), o introducir las características morfológicas de inspecciones siguientes sin modificar la información general, dado que no se ha observado ningún cambio al respecto sobre los datos disponibles. En La Figura 6.5 se muestran las dos posibilidades de introducir datos.

Escuela Politécnica Superior  
d'Edificació de Barcelona

### FICHA DE CAMPO PRIMERA INSPECCIÓN

SALIR

MUNICIPIO <input type="text"/>	
DISTRITO <input type="text"/>	
BARRIO <input type="text"/>	
DIRECCIÓN <input type="text"/>	DIRECCIÓN NUEVA <input type="text"/>
NÚMERO <input type="text"/>	NÚMERO NUEVO <input type="text"/>
FECHA ENTREGA <input type="text"/>	
NÚMERO INSPECCIÓN <input type="text"/>	
TIPO PROMOCIÓN <input type="text"/>	
TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA <input type="text"/>	
TIPO DE USO <input type="text"/>	
AÑO DE CONSTRUCCIÓN <input type="text"/>	

REFCAT <input type="text"/>	
EDIFICIO <input type="text"/>	
REFCAT_C <input type="text"/>	

#### DISTRIBUCIÓN

NÚMERO DE PLANTAS SR <input type="text"/>	NÚMERO DE PLANTAS BR <input type="text"/>
NÚMERO DE ESCALERAS <input type="text"/>	ASCENSOR <input type="text"/>
NÚMERO DE VIVIENDAS <input type="text"/>	GARAJE <input type="text"/>
NÚMERO DE VIVIENDAS POR PLANTA <input type="text"/>	NÚMERO DE FACHADAS <input type="text"/>
NÚMERO DE LOCALES <input type="text"/>	

#### REMONTES

AÑO DE REMONTA <input type="text"/>	NÚMERO DE VIVIENDAS EN LAS PLANTAS REMONTADAS <input type="text"/>
NÚMERO DE PLANTAS REMONTADAS <input type="text"/>	

#### INSTALACIONES DE FACHADAS

GAS <input type="text"/>	AIRE ACONDICIONADO <input type="text"/>
TELÉFONO <input type="text"/>	ELECTRICIDAD <input type="text"/>
ALUMBRADO PÚBLICO <input type="text"/>	BAJANTES <input type="text"/>
TELEVISIÓN <input type="text"/>	OTROS <input type="text"/>

#### CARACTERÍSTICAS DEL SOLAR

EDIFICIO AFECTADO POR NORMAS <input type="text"/>	EDIFICIO ABANDONADO <input type="text"/>
SOLAR CON/SIN VALLA <input type="text"/>	EDIFICIO EN CONSTRUCCIÓN <input type="text"/>
FACHADA EN REHABILITACIÓN <input type="text"/>	AÑO CONSTRUCCIÓN <input type="text"/>

GUARDAR INFORMACIÓN GENERAL

#### CARACTERÍSTICAS DE FACHADA

CUERPOS	HUECOS	REVESTIMIENTOS DISCONTINUOS	REVESTIMIENTOS CONTINUOS	BARANDA CUBIERTA
BARANDAS	BALCONES	TRIBUNAS	OTROS ELEMENTOS	

GUARDAR

SALIR

Figura 6.4

Figura 6.3 Formulario de entrada de datos de primeras inspecciones

Figura 6.4 Formulario de entrada de datos de las características morfológicas

Figura 6.5 Formulario de entrada de datos de segundas inspecciones y posteriores

Cuando se introduce los datos de las lesiones observadas ya sean primeras o posteriores inspecciones, reaparece de nuevo la necesidad de tener que crear un nuevo atributo, para cada fachada. Este nuevo atributo se añade como un campo en todas las tablas, menos en la tabla A1\_INFO\_GENERAL, tomando el nombre de REFCAT\_C\_INS complementando REFCAT\_C con la selección de la fachada que se está observando y que se han catalogado como FC01, FC02, FC03, FC04, FC05, FC06, FC07, FC08, FC09, FC10, más la fecha de inspección quedando formado (XXXXXXXXXXXXX\_E0X\_FCXX\_DD/MM/AAAA), que soluciona el problema de las posteriores inspecciones y evita la duplicidad de información.

Finalmente, con todas las variables controladas, se dispone de una tabla A1\_INFO\_GENERAL, que contiene los campos REFCAT, EDIFICIO, REFCAT\_C más todos los específicos de la información general del edificio, y las restantes nueve tablas, que contienen los campos REFCAT, REFCAT\_C, FACHADA, FECHA\_INSPECCION, REFCAT\_C\_INS incluidos los específicos para cada característica morfológica, tipo de lesión, nivel de gravedad y de magnitud.

### 6.1.2. Tratamiento de la información gráfica

La investigación que se lleva a cabo ha expresado de forma reiterada el interés de acceder a la gestión de la información de manera referenciada geográficamente sobre el territorio urbano objeto de estudio. Por ello se han de incorporar un conjunto de herramientas informáticas vinculadas al SIG que permiten mostrar la información asociada a las tablas, que ya disponemos, de forma georreferenciada mediante capas ( mapas o *layers* ) a través de coordenadas de latitud y longitud creando objetos con todos los atributos.

En este caso, de forma similar a la realizada en las tablas que contienen los datos, nos vamos a basar en la estructura de entidades establecidas por la Dirección General de Catastro que facilita una serie de ficheros .shp que son los que se van a adecuar a las necesidades explícitas de la investigación.

Para realizar el procesado se parte de una primera capa vectorial de nueva creación llamada FACHADAS desarrollada por [Castelló \(2013\)](#). Posteriormente, [Castillo y Franco \(2014\)](#) adaptaron ciertas capas vectoriales implícitas en la información de Catastro. Las capas modificadas por necesidades operativas han sido las denominadas PARCELA.shp, que dispone de los 11.143 registros actuales de las parcelas y la CONSTRU.shp, que contiene los 61.007 polígonos de que consta la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat. La geometría georreferenciada de estas dos capas llevan asociadas unas tablas en las cuales figura REFCAT, campo que servirá para vincular la geometría con las tablas mencionadas en el apartado anterior.

La Figura 6.6 ilustra una parte del mapa urbanístico de la ciudad de interés y la tabla asociada de la capa vectorial que contiene la información relativa a la parcela PARCELA.shp, mientras que en la Figura 6.7 se puede identificar la capa CONSTRU.shp y la tabla asociada de la capa vectorial que contiene la información relativa a los edificios y construcciones proporcionada por la Dirección General de Catastro, en ArcGIS.

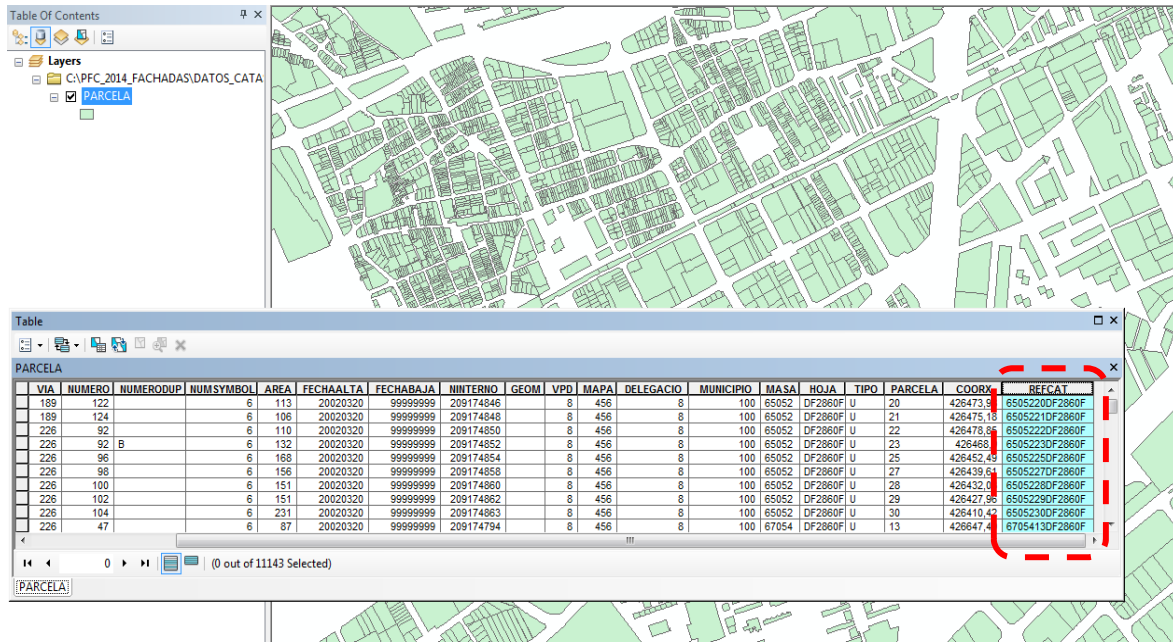


Figura 6.6 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial PARCELA.shp proporcionada por Dirección General de Catastro, en ArcGIS

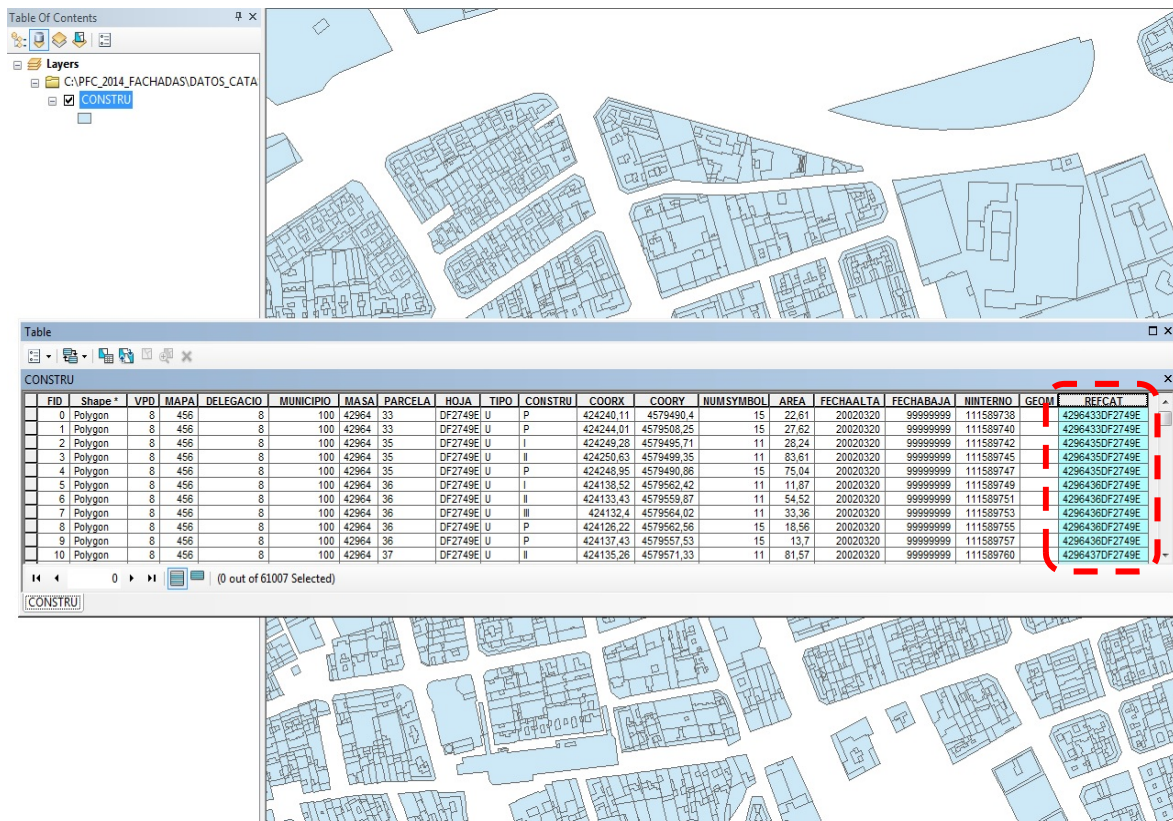


Figura 6.7 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial CONSTRU.shp proporcionada por Dirección General de Catastro, en ArcGIS

- Sin embargo como para la investigación sólo son de interés los elementos que concurren en los frentes urbanos, de la información que se dispone tan sólo se va a utilizar la referente a los polígonos que limitan los edificios y las líneas que identifican las distintas fachadas que lindan con la vía pública. Por esta razón se han transformado los polígonos en segmentos de líneas, creando una capa nueva llamada CONSTRU\_FACHADAS.shp, que mantiene todos los atributos georreferenciados de las tablas anteriores. La Figura 6.8 muestra esta nueva capa vectorial que lleva asociada la tabla de Catastro y de la que solo interesa extraer la referencia catastral (REFCAT), nexos de unión entre las tablas B1\_FACHADA\_CUERPO y B8\_VOLUMETRIAS\_OTROS descritas en la subsección anterior.

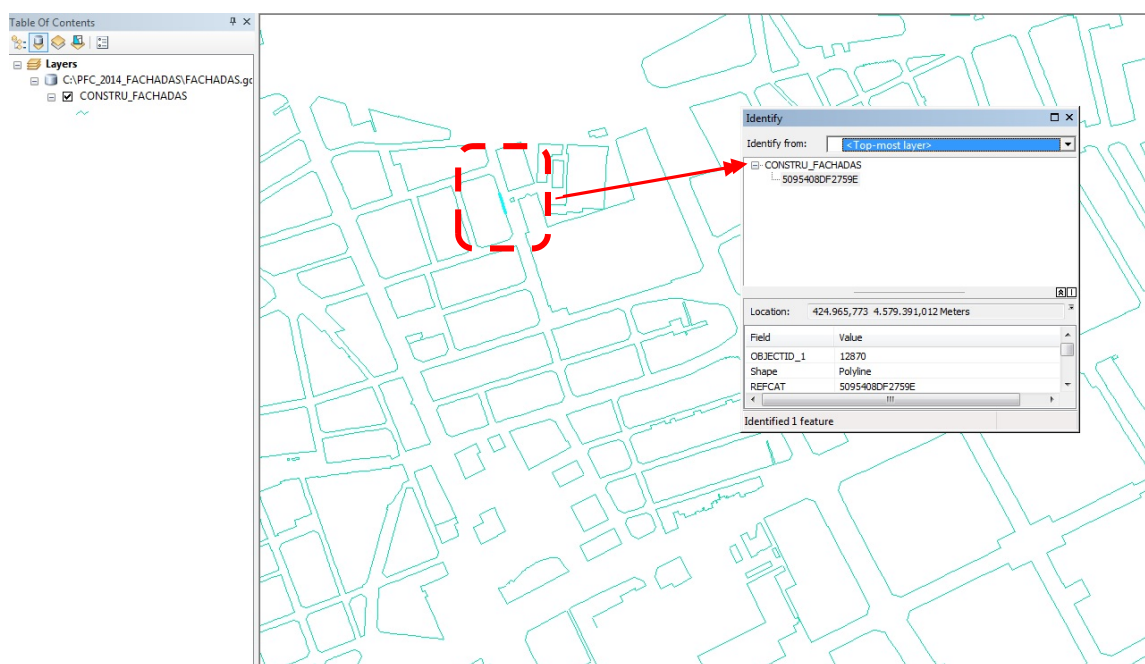


Figura 6.8 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial CONSTRU\_FACHADAS.shp

Una vez adaptada la información de las fachadas, se procede a adecuar la información referente a los edificios. Para ello, análogamente a las fachadas, se realiza una copia de la capa vectorial PARCELA.shp que recibe el nombre de CONSTRU\_EDIFICIOS.shp. La Figura 6.9 ilustra esta capa vectorial que mediante la REFCAT puede unirse a la tabla A1\_INFO\_GENERAL, quedando así vinculada la información general del edificio con su representación gráfica georreferenciada.

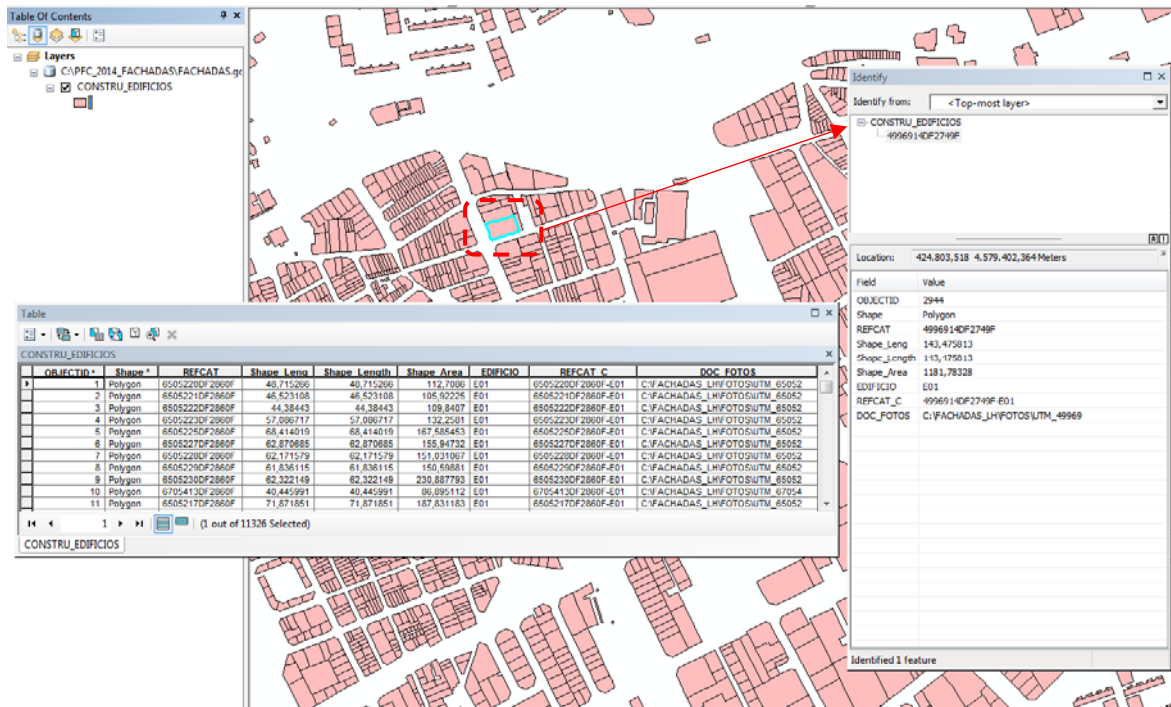


Figura 6.9 Vista del mapa y la tabla asociada de la capa vectorial CONSTRU\_EDIFICIOS.shp

En este momento con las dos capas vectoriales ya operativas, CONSTRU\_FACHADAS.shp y CONSTRU\_EDIFICIOS.shp, se procede a incorporar ciertos valores vinculados a características de situación territorial en la orientación de las fachadas. Ésta se ha recalculado añadiendo campos nuevos donde se determinan las coordenadas de inicio,  $X_0$ ,  $Y_0$  y final  $X_f$ ,  $Y_f$  de cada segmento que identifica cada fachada y se calcula el incremento de las coordenadas  $X$  ( $\Delta X = X_f - X_0$ ) e  $Y$  ( $\Delta Y = Y_f - Y_0$ ). La Figura 6.10 ilustra el esquema de orientaciones según los incrementos de coordenadas.

Conociendo  $\Delta X$  y  $\Delta Y$  se calcula el ángulo  $\beta$ , en radianes ( $0 \leq \beta \leq \pi$ ), con la expresión:

$$\beta = \arctg \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

Y en unidades sexagesimales:

$$\beta = \arctg \frac{\Delta X}{\Delta Y} \times \left[ \frac{180}{\pi} \right]$$

Aplicando la expresión correspondiente en función del cuadrante donde se encuentra  $\beta$ , como indica la Figura 6.10, se determinará la orientación,  $\theta$ , de la fachada. La Tabla 6.1 muestra dicha clasificación.



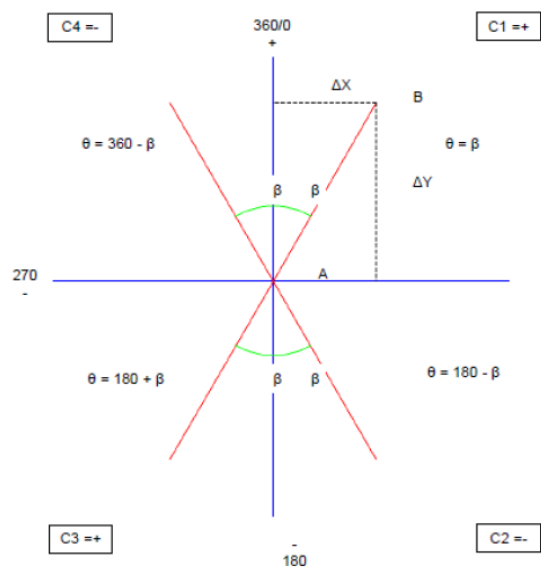


Figura 6.10 Esquema de orientaciones

$\theta$	Orientación
$0 \leq \theta < 45$	O – NO
$45 \leq \theta < 90$	NO – N
$90 \leq \theta < 135$	N – NE
$135 \leq \theta < 180$	NE – E
$180 \leq \theta < 225$	E – SE
$225 \leq \theta < 270$	SE – S
$270 \leq \theta < 315$	S – SO
$315 \leq \theta < 360$	SO - O

Tabla 6.1 Clasificación de orientaciones

La información obtenida se recoge en CONSTRU\_FACHADAS.shp. La Figura 6.11 muestra la simbología asociada a la orientación de la tabla de atributos.

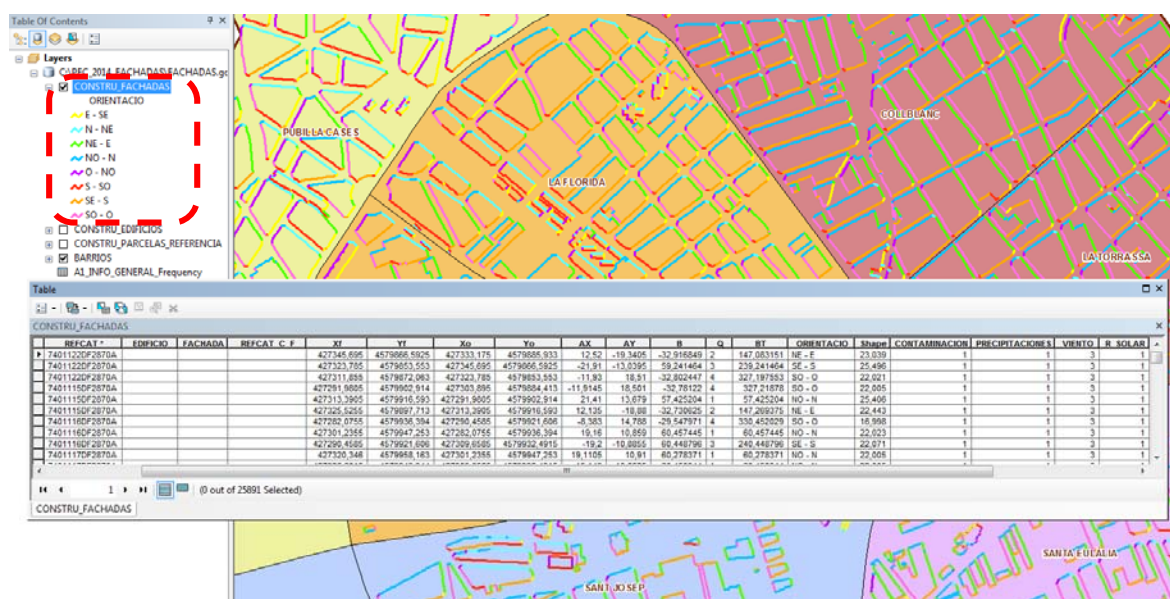


Figura 6.11 Vista del mapa CONSTRU\_FACHADAS.shp mostrando la simbología de la orientación de las fachadas

Para determinar la incidencia del sol en las fachadas, se ha establecido la Tabla 6.2, que recoge el grado de impacto en función de su orientación geográfica.

Grado de impacto	Orientación
Alto	SE – S , S - SO
Medio	SO – O , O – NO , NO – E , E – SE
Bajo	NO – N , N - NE

Tabla 6.2 Grados de impacto solar por orientación geográfica

Dentro del software ArcGIS estas relaciones quedan definidas con número 1 para un impacto bajo, el 2 determina impactos medios y, por último, el 3 que hace referencia a un impacto alto. La Figura 6.12 refleja una fracción de la ciudad en la que quedan resaltadas, por colores, cada una de las fachadas en función del impacto solar a la que se hallan sometidas.

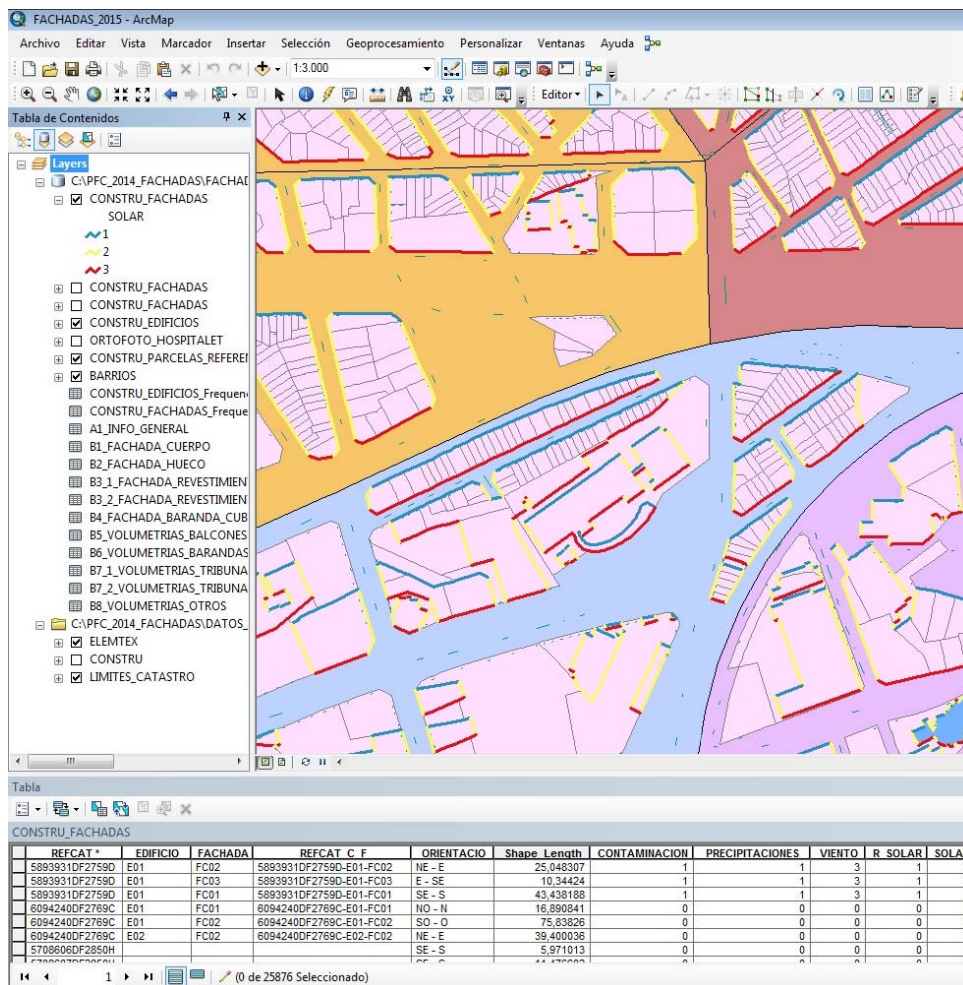


Figura 6.12 Vista del mapa CONSTRU\_FACHADAS.shp mostrando el grado de impacto solar según la orientación de las fachadas

Otros condicionantes que afectan la durabilidad, según los fenómenos que se llegan a dar en el cañón urbano, son los climáticos y de contaminación, por ese motivo se han incorporado nuevos

campos dentro de los atributos de CONSTRU\_FACHADAS.shp, con variables cualitativas medioambientales que recogen la exposición a la que están sometidas las fachadas bajo parámetros de impacto alto, medio o bajo según las relaciones existentes entre los anchos de las vías y las alturas de las fachadas.

Existe una particularidad en el caso de estudio del grado de impacto solar sobre las fachadas, dado que como se ha visto, éstas se ven afectadas, por un lado, de su orientación geográfica (Tabla 6.2) y, por otro, la relación entre el ancho y el alto del cañón urbano a la que pertenecen (Tabla 3.5), que incide en el nivel de radiación solar recibida. Esto nos sugiere definir una nueva variable, R\_SOLAR. La Tabla 6.3 recoge ambas situaciones del impacto resultante entre estos dos parámetros.

		Grado impacto en función de las proporciones viarias		
Grado de impacto en función de la orientación		Alto	Medio	Bajo
Alto		Alto	Medio	Bajo
Medio		Medio	Medio	Bajo
Bajo		Bajo	Bajo	Bajo

*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*

En la Figura 6.13 se ilustra, a título de ejemplo, cómo quedan representados los grados de impacto solar de las fachadas, siendo el 1 el grado de impacto bajo, el 2 el medio y el 3 el alto. Obsérvese que en la figura aparece el valor 0, este hecho se debe a valores omitidos por falta de información durante la recogida de datos.

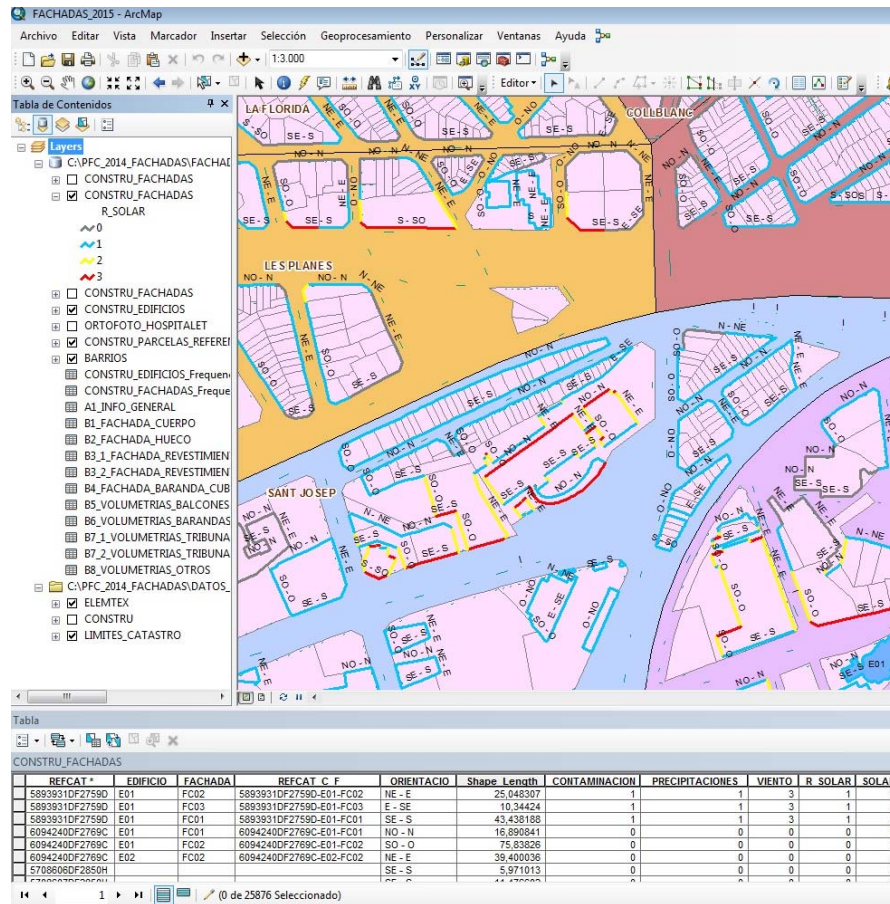


Figura 6.13 Vista del mapa *CONSTRU\_FACHADAS.shp* mostrando el grado de impacto solar según la orientación de las fachadas y las proporciones del cañón urbano (*R\_SOLAR*)

### 6.1.3. Introducción y análisis de la información en ArcGIS

La estructura funcional de los ficheros creados dentro de ArcGIS se va a gestionar mediante una GDB (sistema de base de datos relacionales junto a información georreferenciada) y que en la investigación recibe el nombre de *FACHADAS.gdb*. En ella se van a almacenar todos los datos de las inspecciones realizadas sobre las fachadas junto a las geometrías georreferenciadas que pertenecen a las capas vectoriales creadas dentro de los ficheros de *CONSTRU\_EDIFICIOS.shp* y *CONSTRU\_FACHADAS.shp*. En la Figura 6.14 se muestra el flujo de información partiendo de la entrada de datos y la captura de ficheros que permite Catastro, para la formalización de la GDB que nos lleva hacia el módulo de consultas.

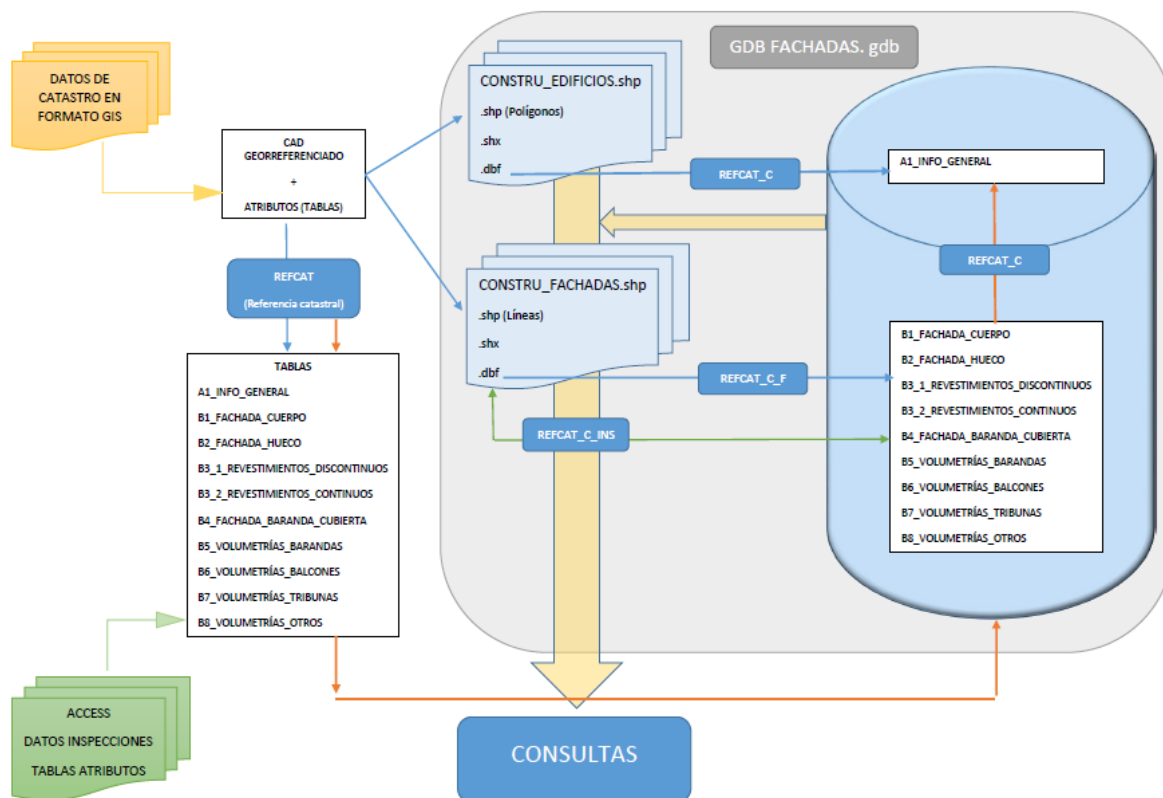


Figura 6.14 Esquema organizativo de la estructura creada en ArcGIS

Para facilitar la carga de datos de los distintos ficheros hacia ArcGIS, se ha creado una barra de herramientas con el nombre de 00\_CARGA DATOS que posibilita las entradas de las tablas de forma individual o en bloque. Las tablas cargadas dentro de la GDB van a mantener las mismas características de los formularios de entrada y permitirán visualizar sobre el territorio, de forma gráfica, la consulta que se plantee. En Figura 6.15 se muestra la barra de carga hacia el programa ArcGIS.

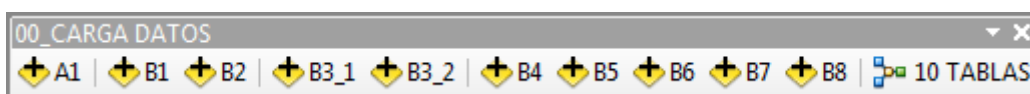


Figura 6.15 Barra de herramientas 00\_CARGA DATOS

Finalmente nos hallamos en disposición de generar entidades únicas para identificar a cada edificio dentro del campo REFCAT\_C, relacionando los parámetros gráficos y alfanuméricos, entre los datos introducidos en la tabla A1\_INFO\_GENERAL y los registros de la parte gráfica CONSTRU\_EDIFICIOS.shp.

De forma similar se procede con las fachadas que a partir de los códigos únicos REFCAT\_C y CONSTRU\_FACHADAS.shp, configuran REFCAT\_C\_F que va a contener todas las características

morfológicas procedentes de las fichas (almacenadas en las tablas de B1 a B8) mediante un identificador para cada fachada del tipo:

$$\text{REFCAT\_C\_F} = \text{REFCAT} + \text{E0X} + \text{FCXX}$$

Siendo E0X (E01, E02,....., E06) el identificador del edificio y FCXX (FC01, FC02,....., FC10) como el identificador de la fachada.

La Figura 6.16 muestra la unión referente al edificio con la tabla A1\_INFO\_GENERAL, mediante el campo REFCAT\_C, y la Figura 6.17 ilustra, a modo de ejemplo, la unión de las fachadas, mediante el campo REFCAT\_C\_F, con la tabla B1\_FACHADA\_CUERPO.

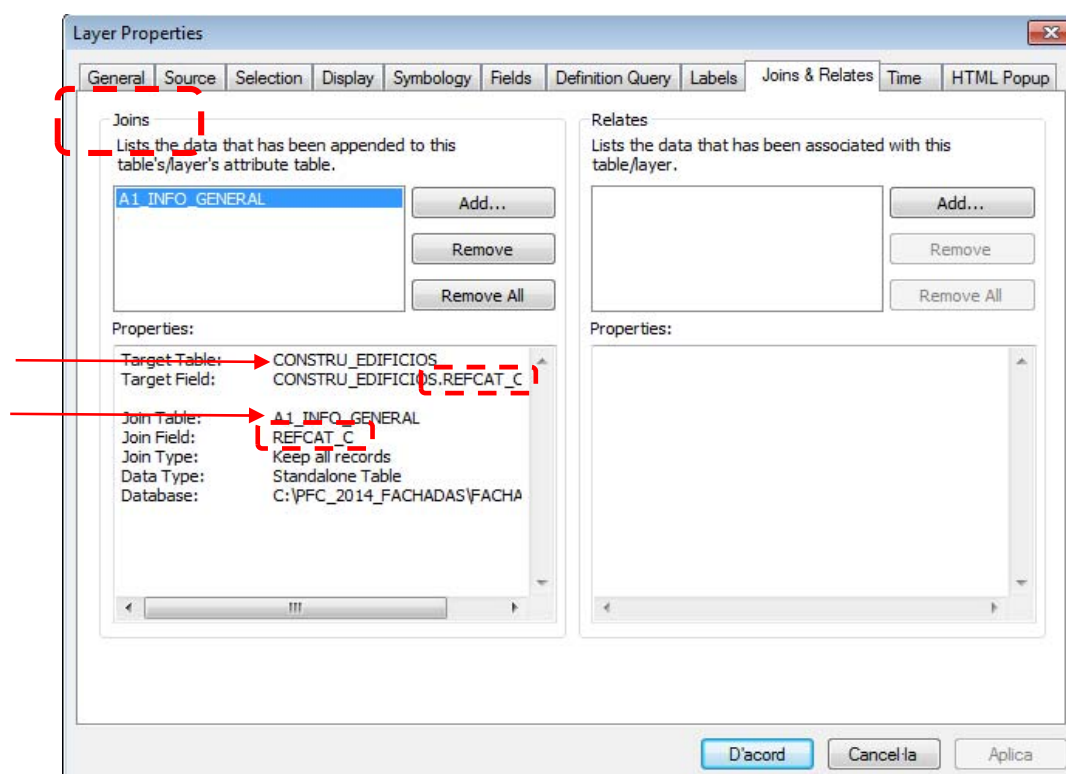


Figura 6.16 Unión entre tablas de datos únicos para cada edificio en ArcGIS

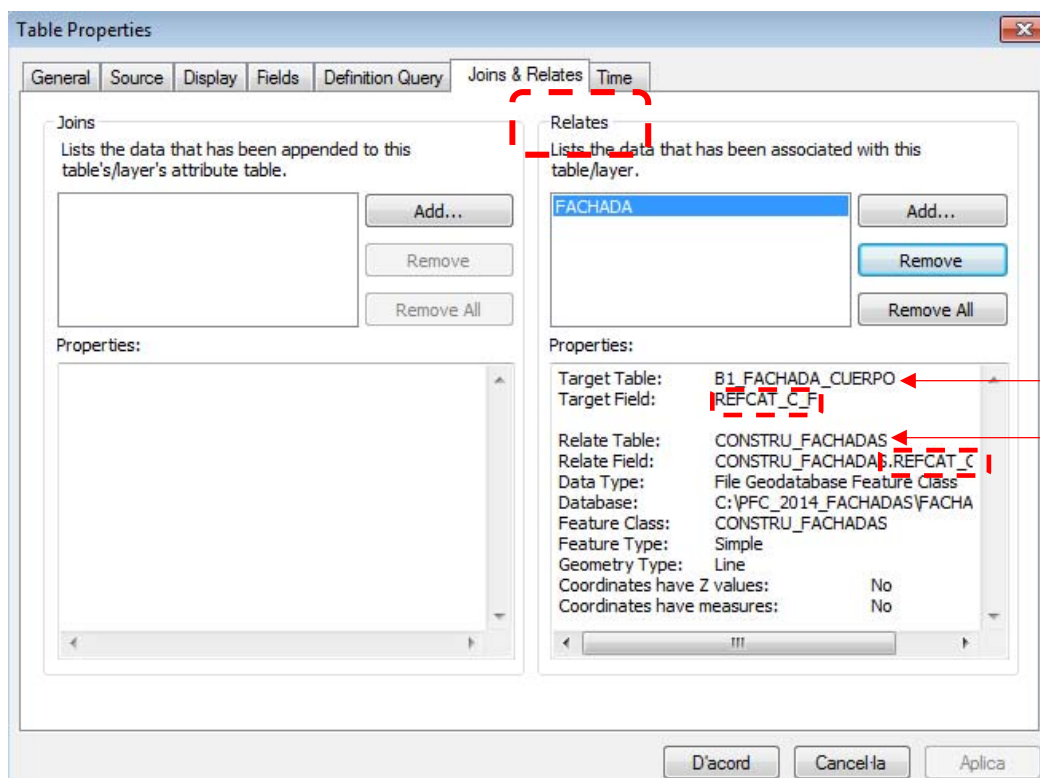


Figura 6.17 Relación entre tablas de datos únicos para cada fachada en ArcGIS

Partiendo del sistema preparado para disponer de toda la información necesaria vinculada, la plataforma ya permite la realización de ciertas consultas descriptivas asociadas al territorio.

### Primeras consultas de verificación

La configuración dentro del programa ArcGIS ha quedado formada por un conjunto de capas y vistas de mapas que nos van a permitir crear las relaciones deseadas entre los datos existentes y su correlación gráfica. En la Figura 6.18 queda reflejada la estructura final entre las capas y tablas creadas dentro de la GDB de ArcGIS.

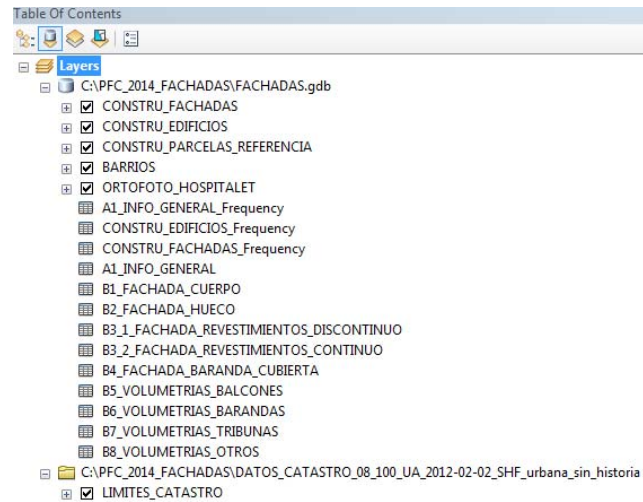


Figura 6.18 Estructura de capas y tablas de la GDB, FACHADAS.gdb, en ArcGIS

A continuación se van a mostrar algunos ejemplos del potencial de SIG, utilizando el programa ArcGIS a través de la estructura de capas y tablas creada, la cual permite extraer información difícil de observar sólo a partir de los datos de las tablas de inspecciones de campo.

La Figura 6.19 da respuesta a cómo se halla distribuida la edificación, en una zona de L'Hospitalet de Llobregat, en función del uso que se haya dado a la construcción y la Figura 6.20 muestra cómo quedan los edificios seleccionados por colores en base a su año de construcción en periodos de 20 años.

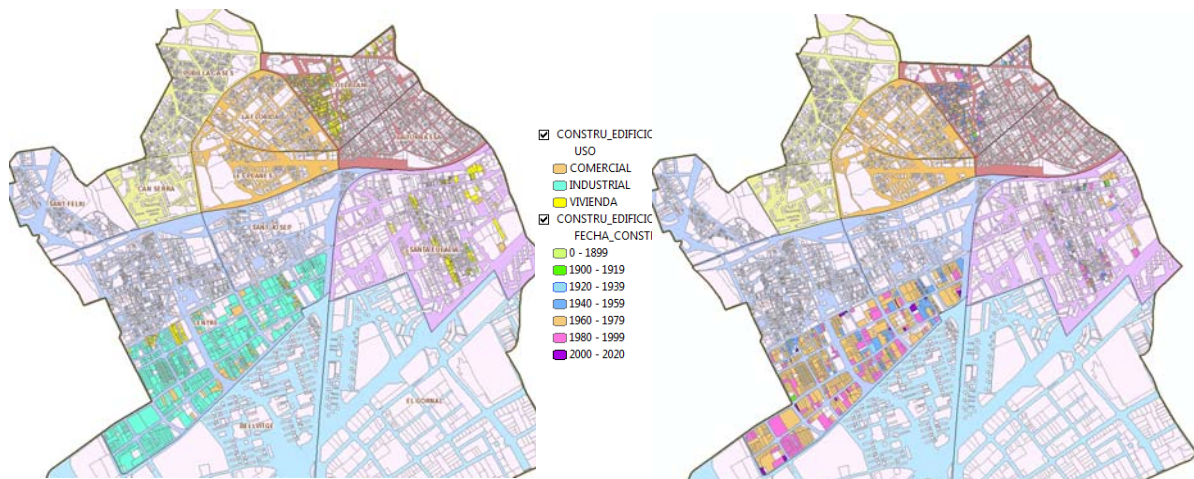


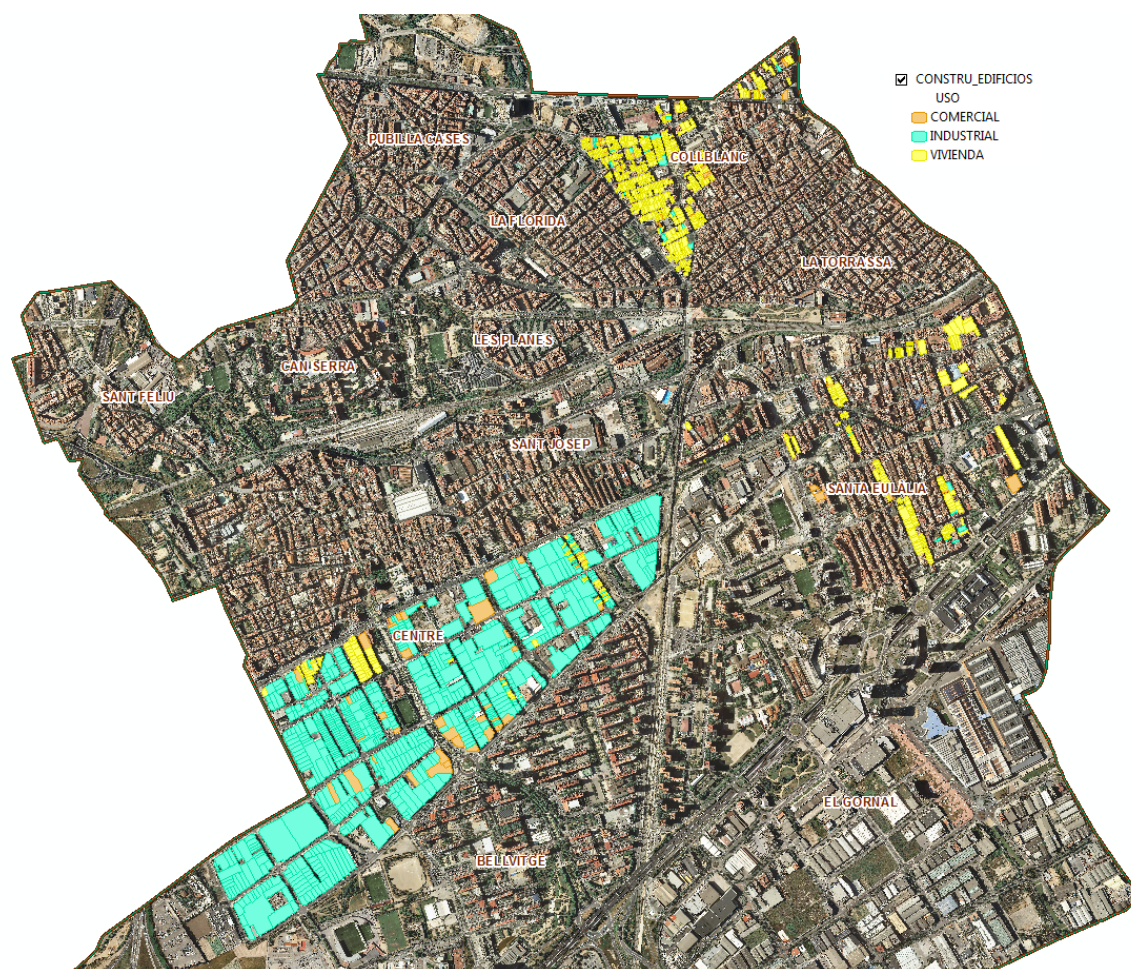
Figura 6.19 Vista de mapa de los edificios clasificados por colores según el uso

Figura 6.20 Vista de mapa de los edificios clasificados por colores según su año de construcción en periodos de 20 años

Esta consulta permite realizar una comparativa visual entre el uso dado a cada edificio inspeccionado y su fecha de construcción.



Destacar que cualquier capa georreferenciada se podrá superponer, si la ciudad en estudio dispone de ella, a la ortofotografía del municipio, aportando una representación de mayor realidad a las situaciones planteadas dentro de la consulta. La Figura 6.21 refleja sobre la ortofoto la consulta realizada en la Figura 6.19 .



*Figura 6.21 Vista de mapa de los edificios clasificados por su uso, con la ortofotografía de fondo*

Esta configuración de capas y vistas de mapa, son un claro ejemplo de las ventajas de trabajar en un entorno SIG, ya que ofrecen la posibilidad de estudiar relaciones y plantear hipótesis entre los datos gracias a su potencial de gestión como base de datos relacional.

## 6.2. Implementación en QGIS y desarrollo del plugin FAD

Dentro de la investigación que se lleva a cabo, y tras lo expuesto, queda demostrado que la elección de un entorno SIG es una de las mejores opciones, a pesar de las adaptaciones que requiere para incorporar la información recogida y su estructura.

Sin embargo, al plantear la incorporación del módulo de análisis estadístico de supervivencia, dentro del programa ArcGIS, han surgido dudas razonables sobre si el camino elegido era el adecuado, ya que el espíritu sobre el que se ha planteado la creación de un colaboratorio, dentro de la Tesis Doctoral, capaz de generar sinergias a través de un sistema abierto, integrador para todos los laboratorios urbanos que deseen participar en el proyecto, no se ajusta a la obligatoriedad de emplear necesariamente un programa, como el elegido, sujeto a licencia y a costes económicos importantes para su uso.

Este giro, que no podíamos pasar por alto, obligó a un replanteamiento profundo en la base de la investigación y a una nueva inversión de tiempo importante hacia nuevas búsquedas dentro del entorno de los SIG, con la posibilidad de trabajar sobre programas libres y exentos de licencias comerciales. Todo ello con el condicionante de poder implementar de forma adecuada, sin necesidad de incorporar de nuevo todas las tablas y relaciones georreferenciadas creadas en ArcGIS, dentro de la nueva plataforma escogida.

Finalmente, 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 colaboratorio. En cuanto al análisis estadístico, y en particular al análisis de la 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.

### 6.2.1. Migración de la plataforma ArcGIS a QGIS

QGIS (anteriormente llamado también Quantum Gis) es un Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, BSD, Unix, Mac OSX, Windows y Android. QGIS opera bajo la licencia GNU y permite manejar formatos raster y vectoriales a través de distintas bibliotecas y librerías, así como bases de datos. Una de sus ventajas es que permite la integración de *plugins* desarrollados tanto en C++ como Python. En la actualidad se dispone de más de 300 *plugins* que completan QGIS, número en aumento debido a su continuo desarrollo. PyQGIS es el módulo de QGIS para ejecutar código con el que se pueden automatizar tareas SIG.

El paso del proyecto en ArcGIS a QGIS se realiza modificando las tablas que formarán la nueva GDB, denominada DATABASE.db, como se ilustra en la Figura 6.22 donde se puede apreciar los cambios en su estructura respecto a la estructura de FACHADAS.gdb de ArcGIS.

Inicialmente, en la GDB de ArcGIS, se disponía de nueve tablas de características morfológicas. Como se puede observar en la Figura 6.22, éstas se han reorganizado, dando lugar a diez. La nueva tabla es fruto del desdoblamiento de la tabla B7\_VOLUMETRIAS\_TRIBUNAS en las tablas

B7\_1 y B7\_2, con el fin de que la información almacenada se ajuste más a la realidad y muestre una mayor coherencia.

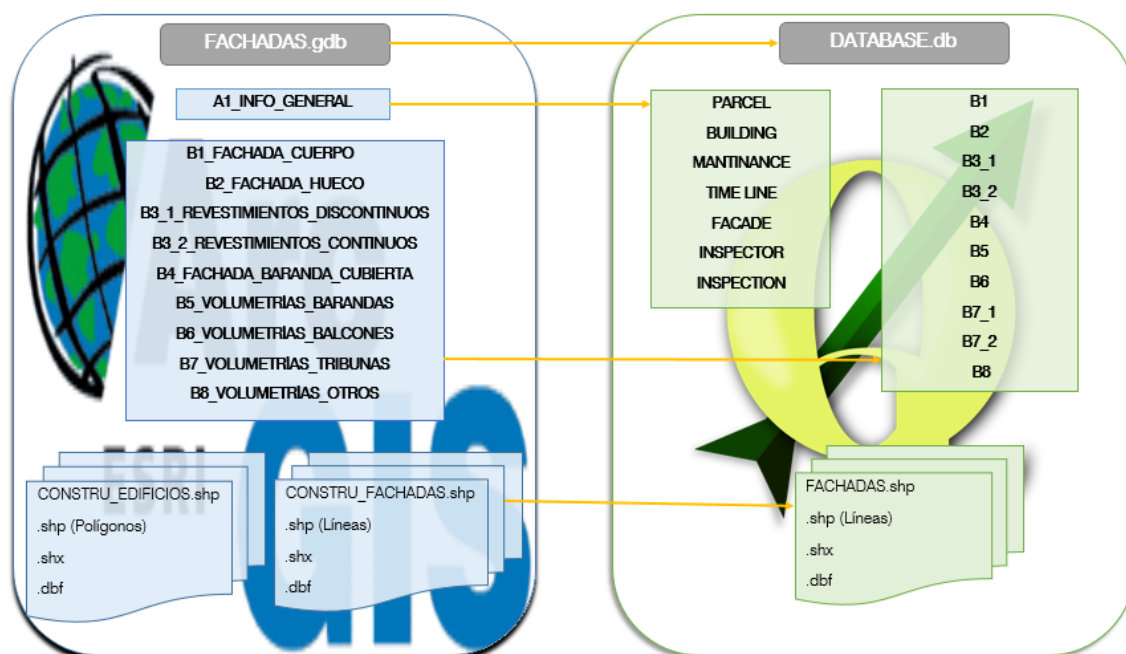


Figura 6.22 Estructura de la DB en QGIS derivada de la GDB de ArcGIS

La nueva estructura de la DB creada en QGIS, permite relacionar toda la información disponible según las tablas que se muestran en la Figura 6.23, en la que se describe el contenido de cada una de las tablas y los vínculos existentes entre ellas.

Así pues, de la información contenida en las nueve tablas en ArcGIS se han estructurado de nuevo, creando las tablas FACADE (que también incluye parte de la información de A1\_INFO\_GENERAL) e INSPECTION. Éstas disponen, además, de otros campos que se utilizan para vincular con otras tablas nuevas, tales como la de INSPECTOR. Hay que hacer mención, de que en algunas tablas nuevas, como MAINTENANCE (mantenimiento), TIMELINE (línea de tiempo) e INSPECTOR (inspector), a día de hoy no se han introducido datos, dado que en el inicio de esta Tesis Doctoral, estos campos no estaban previstos, sin embargo durante el desarrollo de la investigación se ha creído conveniente que se tengan en cuenta en la nueva herramienta de análisis que se ha desarrollado, para investigaciones futuras. De estas tablas de nueva creación podemos destacar la tabla TIMELINE, que consta de tres campos que permiten vincular sus registros con el resto de tablas y establecer una línea de tiempo que mostrará los eventos acontecidos en una fachada desde su año de construcción hasta su derribo, pudiendo establecer fechas de corte para el estudio de la vida útil y progresión de la fachada en cuestión, hasta una determinado momento. Destacar que en la nueva estructura la tabla A1\_INFO\_GENERAL ha desaparecido como tal y se ha fragmentado la información entre las tablas PARCEL (parcela) y BUILDING (edificio).

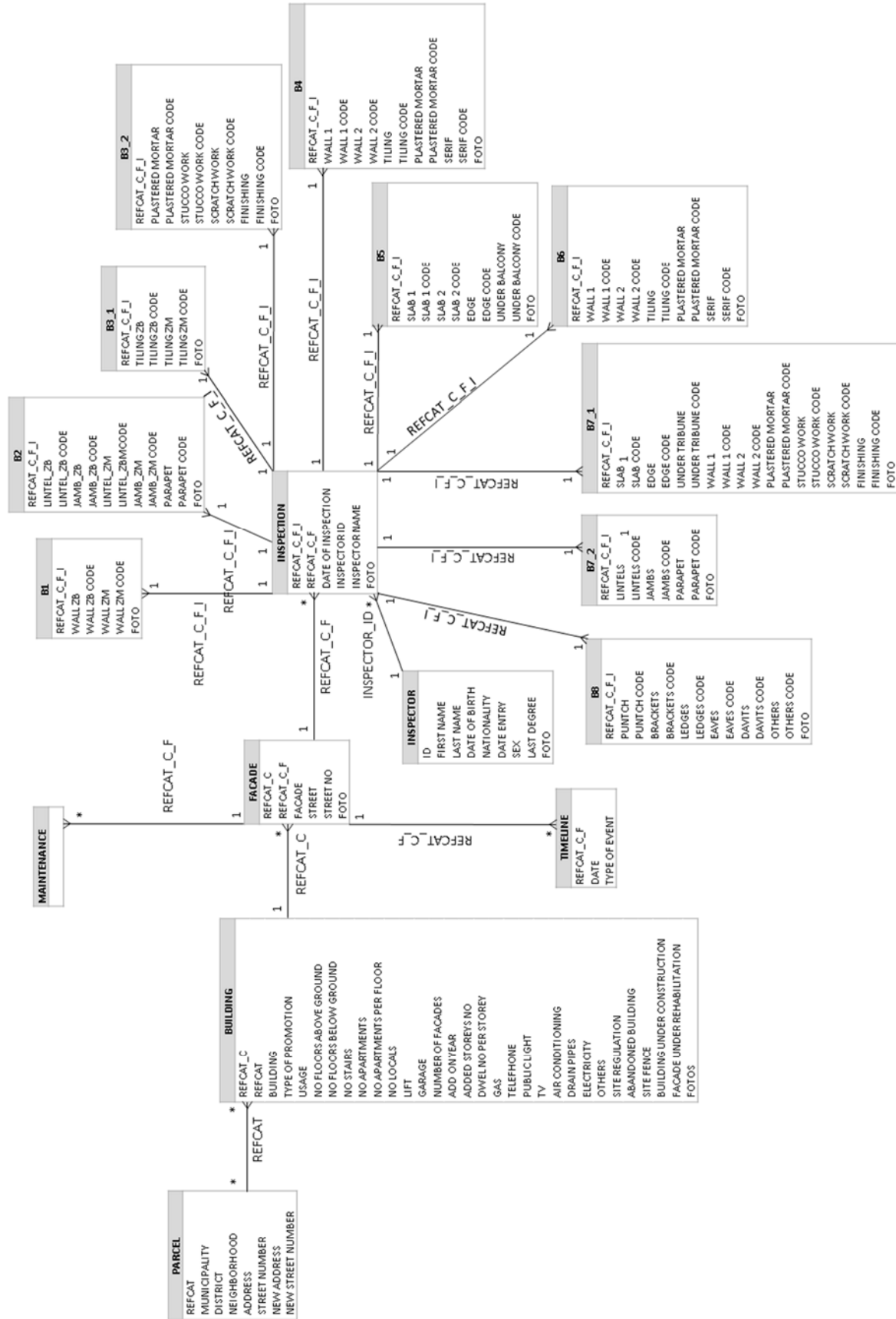


Figura 6.23 Diagrama de la Estructura de la DB en QGIS

En cuanto a la información gráfica, en QGIS solo se utilizará la capa vectorial CONSTRU\_FACHADAS.shp de ArcGIS, que pasa a denominarse FACHADAS.shp. La Figura 6.24 ilustra la interfaz de QGIS con el shape FACHADAS.shp y la tabla de atributos ya exportada al entorno QGIS.

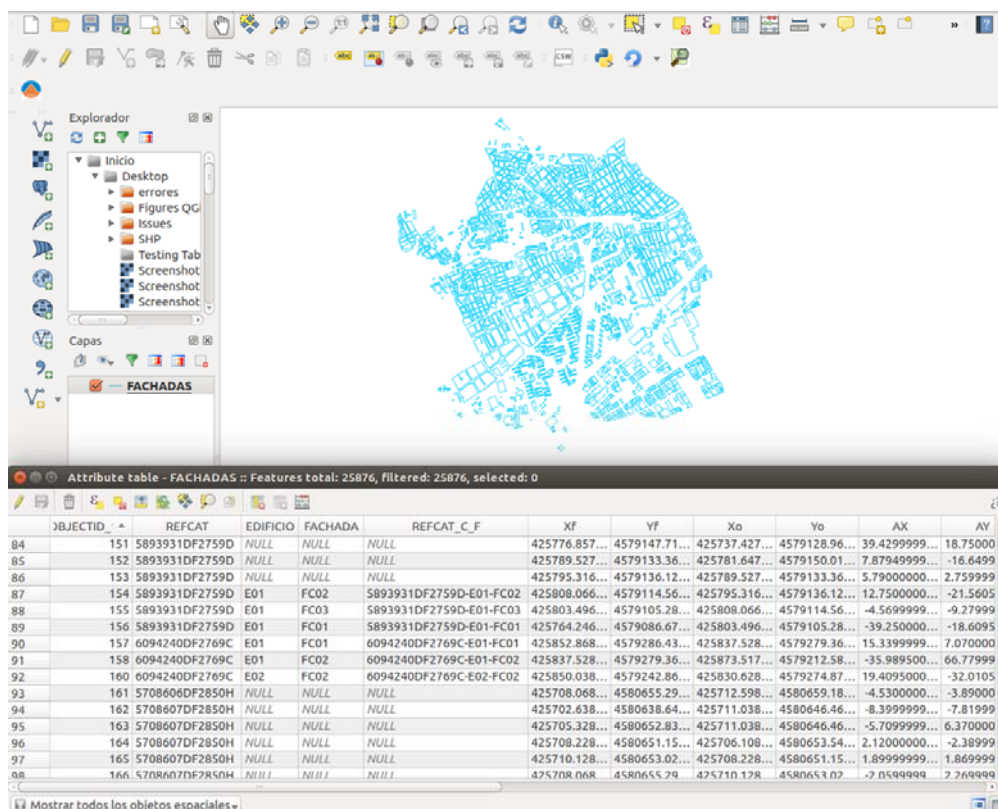


Figura 6.24 Interfaz de QGIS

### 6.2.2. El plugin FAD

Uno de los principales objetivos de esta Tesis Doctoral es el desarrollo de un módulo de análisis estadístico que permita estudiar el estado y evolución de las lesiones, a modo predictivo, de las fachadas de un parque urbano en estudio. Este complemento de QGIS que se ha implementado se ha denominado Seguimiento y Decisión (*Followup and Decision*), de ahora en adelante FAD 0.1 por sus siglas en inglés.

El aplicativo estadístico FAD 0.1 ha sido desarrollado en colaboración con el Dr. Jacek Rapinski del Instituto de Geodesia de la Facultad de Geodesia e Ingeniería de la University of Warmia and Mazury en Olsztyn (Polonia) y el Laboratorio de Edificación y el IEMAE de la EPSEB. Este plugin se ha creado para QGIS, en el entorno Linux, y se estructura en tres módulos, como ilustra la Figura 6.25. El lenguaje utilizado para la implementación de este aplicativo ha sido Python que permite la utilización de otros programas externos, como es el caso de R utilizado para el estudio y análisis estadístico de los datos disponibles.

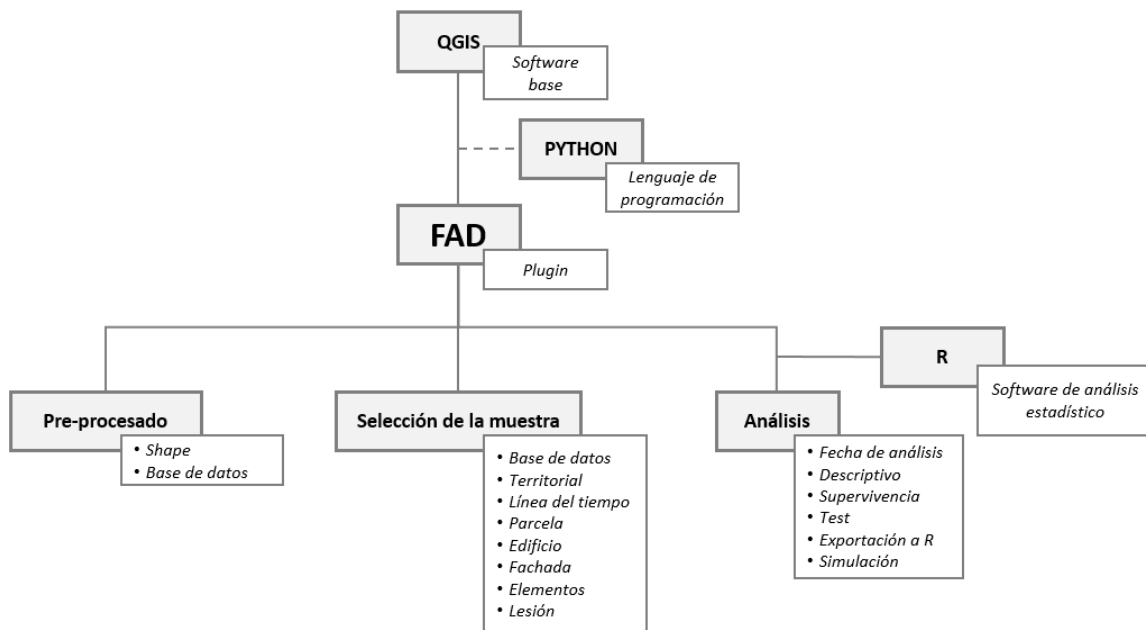


Figura 6.25 Estructura del plugin FAD 0.1

Las funcionalidades más relevantes de cada módulo, descritas brevemente, son las siguientes:

- **Pre-procesado:** Muestra las fachadas contenidas tanto en la capa vectorial (información geográfica) como las almacenadas en la DB, identificando aquellas que no están conectadas entre sí.
- **Selección de la muestra:** Módulo que permite seleccionar una muestra de fachadas con criterios de parámetros de interés definidos por el usuario. Estos parámetros son referentes a características territoriales, línea del tiempo, parcela, edificio, fachada, elementos propios de la fachada o referentes a lesiones, siguiendo la estructura de la DB en QGIS (Figura 6.23).
- **Análisis:** Permite analizar la muestra seleccionada en el módulo anterior, describiéndola estadísticamente, y aplicar técnicas de análisis de supervivencia para estimar la evolución de la degradación de las fachadas seleccionadas, así como modelar el proceso de deterioro identificando qué variables intervienen de forma significativa en el mismo.

En el Anejo F se describen con detalle e ilustraciones las funcionalidades del plugin FAD 0.1, así como un manual de usuario del mismo. El código implementado es consultable en <https://bitbucket.org/jacekrapinski/survival>.

## PARTE III

# APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE UN CASO PRÁCTICO





## Capítulo 7

### CASO DE ESTUDIO (1/2): DISEÑO MUESTRAL, ANÁLISIS INICIAL Y LESIONES DE INTERÉS

Como se ha argumentado en el cuerpo de la investigación, para mostrar las posibilidades del SPM/D/FUE que se propone, se va a experimentar su efectividad sobre los datos hallados en el Laboratorio Urbano de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat. Este hecho abre también la posibilidad de iniciar la estructura funcional del fenómeno Colaboratorio, con la integración del primer Laboratorio Urbano y, a su vez demostrar que las propuestas planteadas sobre el frente urbano son perfectamente viables a partir del sistema propuesto.

El ensayo se inicia analizando los datos obtenidos de las primeras y segundas inspecciones realizadas sobre una misma muestra, en determinados barrios de la ciudad, donde a partir de las primeras inspecciones y tras verificar la inexistencia de acciones de reparación, durante el tiempo transcurrido entre los dos controles, se somete a las fachadas a una segunda inspección con el objetivo de mejorar la información disponible. En consecuencia no es objetivo de esta investigación reproducir los estudios ya realizados en la ciudad, basados sobre primeras inspecciones, cuyas conclusiones se hallan en el trabajo de [Gibert y Royano \(2010\)](#), en donde ya se introducen unas experiencias preliminares en análisis estadísticos de supervivencia, sus resultados y aprendizaje son los que han inspirado y motivado la investigación de esta Tesis Doctoral.

Tenemos el pleno convencimiento que vamos a demostrar que tras la implantación del sistema SPM/D/FUE se abre una nueva realidad para los profesionales del sector, como consecuencia de la observación, procesado y reflexión de dejar que hablen los datos antes de tomar decisiones aventuradas.

En los apartados que siguen a continuación se describen las singularidades más destacables de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat, así como las particularidades de mayor interés para la investigación, con una breve introducción histórica para comprender su estructura territorial y la evolución de su crecimiento urbanístico a lo largo del tiempo.

### 7.1. Consideraciones generales de la ciudad en estudio

La ciudad de L'Hospitalet de Llobregat era una extensa zona agrícola hasta finales del siglo XVII y fue a partir de esta época cuando se empezaron a instalar las primeras fábricas de industria textil. Es a principios del siglo XX, tras una fuerte mejora en el sector de la industria, cuando la ciudad sufre un gran crecimiento demográfico.

Fueron los años de régimen franquista donde la ciudad alcanzó su máxima expansión urbanística y poblacional, tras el reclamo de mano de obra necesaria para la industria, convirtiendo al municipio en el segundo de mayor importancia de toda Cataluña. Este crecimiento repentino provocó un urbanismo anárquico y errores estratégicos de futuro como los de disponer los polígonos industriales cerca del núcleo urbano sin prever un posible crecimiento residencial de la ciudad y acentuando la presencia de circulación de vehículos pesados por el interior de las zonas urbanas.

Sin embargo, en el año 1979 con la llegada de la democracia, las condiciones del entorno fueron mejorando a través de la urbanización de calles, creación de nuevos servicios, construcción de escuelas, centros culturales, parques y sus respectivas infraestructuras generando una transformación urbanística más equilibrada. A finales de los años 90, la ciudad contempla una segunda transformación con el objetivo de cubrir ciertas necesidades primarias, diseñando mejores vías de transportes y servicios de conexión con el área metropolitana de Barcelona.

En los últimos años las iniciativas urbanísticas se ha centrado en diseñar e implementar un modelo de red viaria interna mejorada para ordenar la comunicación, reordenar calles, descongestionar el espacio urbano y evitar problemas de masificación urbanística. Así, el Pla Director de Mobilitat Sostenible de L'Hospitalet de Llobregat del año 2002 clasifica las calles en tipologías, donde las vías principales se cruzan formando cuadrículas y dentro de éstas se ubican las calles peatonales. El objetivo principal de estas nuevas medidas persigue minimizar la contaminación atmosférica provocada por el tráfico rodado en la vía pública.

En cuanto a su ubicación geográfica la ciudad se halla rodeada por los municipios de Barcelona, Esplugues de Llobregat, Cornellà de Llobregat y El Prat de Llobregat, al margen izquierdo del río

Llobregat. Su extensión total alcanza 12,49 km<sup>2</sup> de superficie, compartimentados por divisiones administrativas que forman seis distritos que contienen los doce barrios de la urbe. En la Tabla 7.1 se muestra dicha división y en la Figura 7.1 como se hallan distribuidos en el territorio.

Distrito	Barrio
I	Centre
	Sanfeliu
	Sant Josep
II	Collblanc
	La Torrassa
III	Santa Eulàlia
IV	La Florida
	Les Planes
V	Can Serra
	Pubilla Cases
VI	Bellvitge
	El Gornal

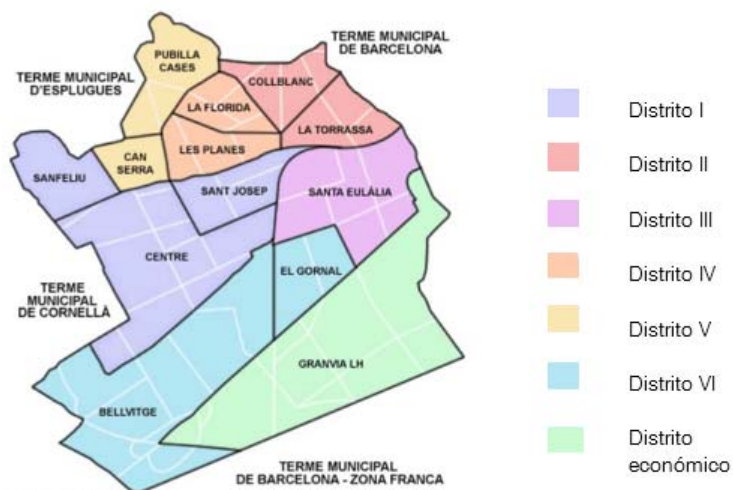


Tabla 7.1 Clasificación de los barrios de L'Hospitalet de Llobregat por Distritos

Figura 7.1 Distribución territorial de los distritos y barrios de L'Hospitalet de Llobregat

### 7.1.1. Distritos y barrios

La voluntad de profundizar en un mayor conocimiento de la formación urbanística de los barrios y distritos de la ciudad persigue poner de relieve la variabilidad urbanística existente, la pluralidad constructiva y el desarrollo de tramas complejas en las vías de comunicación.

El barrio Centre está situado dentro del distrito I al oeste respecto a la ciudad. Se caracteriza por ser uno de los barrios históricos, junto al de Santa Eulàlia, donde la ocupación fue incrementándose a un ritmo lento. También, es conocido por agrupar a la población autóctona a lo largo de la calle Mayor y en las dos ensanches, convirtiéndolo en el barrio más tradicional y donde se mantienen las características del pueblo agrario de sus orígenes. Durante el período de expansión y de crecimiento de la ciudad, el barrio fue expandiéndose de manera ordenada y regular, manteniendo una trama urbana planificada formada por dos calles principales que lo cruzan de derecha a izquierda y por pequeñas vías perpendiculares a éstas. Los edificios más institucionales y próximos al servicio ciudadano se encuentran dentro de sus límites, ejemplo de ellos son: el Ayuntamiento, el Centro de Actividades la Farga, el Museo de Historia o el Centro Cultural Barradas, junto a un sector industrial conocido como Carretera del Mig.

El barrio Collblanc forma parte del distrito II. Señalar que durante la década de los años veinte Collblanc sufrió su primera masificación constructiva y un fuerte crecimiento urbanístico. Por ello, el barrio se convirtió en el de máxima densidad de población, donde las viviendas creadas por el arquitecto Ramon Puig Gairalt pretendían ser una muestra para la mejora de las condiciones de habitabilidad. Sin embargo, dichas condiciones no se pudieron mantener ya que debido a la fuerte demanda de vivienda surgida en la década de los sesenta el barrio llegó a una saturación extrema, circunstancia que dio pie a un bajo nivel de ordenación de las calles, la falta de zonas verdes y espacios de ocio. Actualmente, la plaza del mercado y los alrededores son los principales núcleos de vida ciudadana. De entre ellos, los más destacados son: el parque de la Marquesa, el cementerio de Sants o el teatro Joventut.

Al este de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat se encuentra el barrio Santa Eulàlia perteneciente al distrito III. Similar al barrio Centre, Santa Eulàlia está considerado como el segundo núcleo histórico de la ciudad que experimentó en el siglo XIX un gran crecimiento urbano. En la última década del siglo XIX el ritmo de crecimiento se vio frenado por la expansión del barrio Collblanc. Por ello, el barrio se convirtió en el área de máxima concentración industrial con una parcelación realizada en función de las acéquias de los huertos existentes. Durante los noventa sufrió una gran transformación urbanística mediante la construcción de equipamientos públicos aprovechando algunos terrenos de la zona industrial, y convirtiendo la calle Santa Eulàlia y la avenida del Carrilet en sus tramos principales de comunicación y de comercio.

En la zona norte se halla el barrio La Florida perteneciente al distrito IV. Sobre los años veinte en el barrio se construyeron las primeras viviendas, y a partir de los años cuarenta empezó a crecer una pequeña urbanización. En la actualidad La Florida se caracteriza por su gran actividad comercial alrededor del tradicional mercado de Els Ocellets.

El barrio Pubilla Cases forma parte del distrito V situado al noroeste de la ciudad, limitado con Barcelona y Esplugues de Llobregat al noroeste, y al sudeste por los barrios Collblanc, La Florida, Les Planes y Can Serra. Los primeros conjuntos de edificaciones surgieron en el centro del barrio, sobre los años treinta, que con el tiempo fue creciendo de manera regular, hasta que en la década de los cincuenta experimentó el primer aumento urbanístico en todo el barrio, siendo sus principales núcleos de actividad las avenidas Severo Ochoa y Tomás Giménez

En el distrito VI se encuentra el barrio El Gornal, situado casi al sur de la ciudad. A partir de la década de los cincuenta y tras una pequeña prolongación del barrio de Santa Eulàlia surgen las primeras edificaciones en El Gornal, con un carácter más industrial que residencial. En los años setenta, se construyeron conjuntos de pisos que acabaron de definir la forma del barrio, manteniendo las zonas verdes y los espacios libres con el objetivo de evitar una masificación de población. No obstante, en la década de los ochenta, se llegó a construir hasta la colmatación de su superficie edificable permitida hasta entonces.

Como se puede observar a tenor de las circunstancias que han ido conformando la ciudad, que fue creciendo al albur de contingencias exentas de planificación urbanística regulada, se intuye que se trata de una ciudad desordenada, compleja y variada desde su concepción arquitectónica. En la Figura 7.2 se muestra por décadas como ha sido el crecimiento de la ocupación territorial en los distintos barrios de la ciudad.

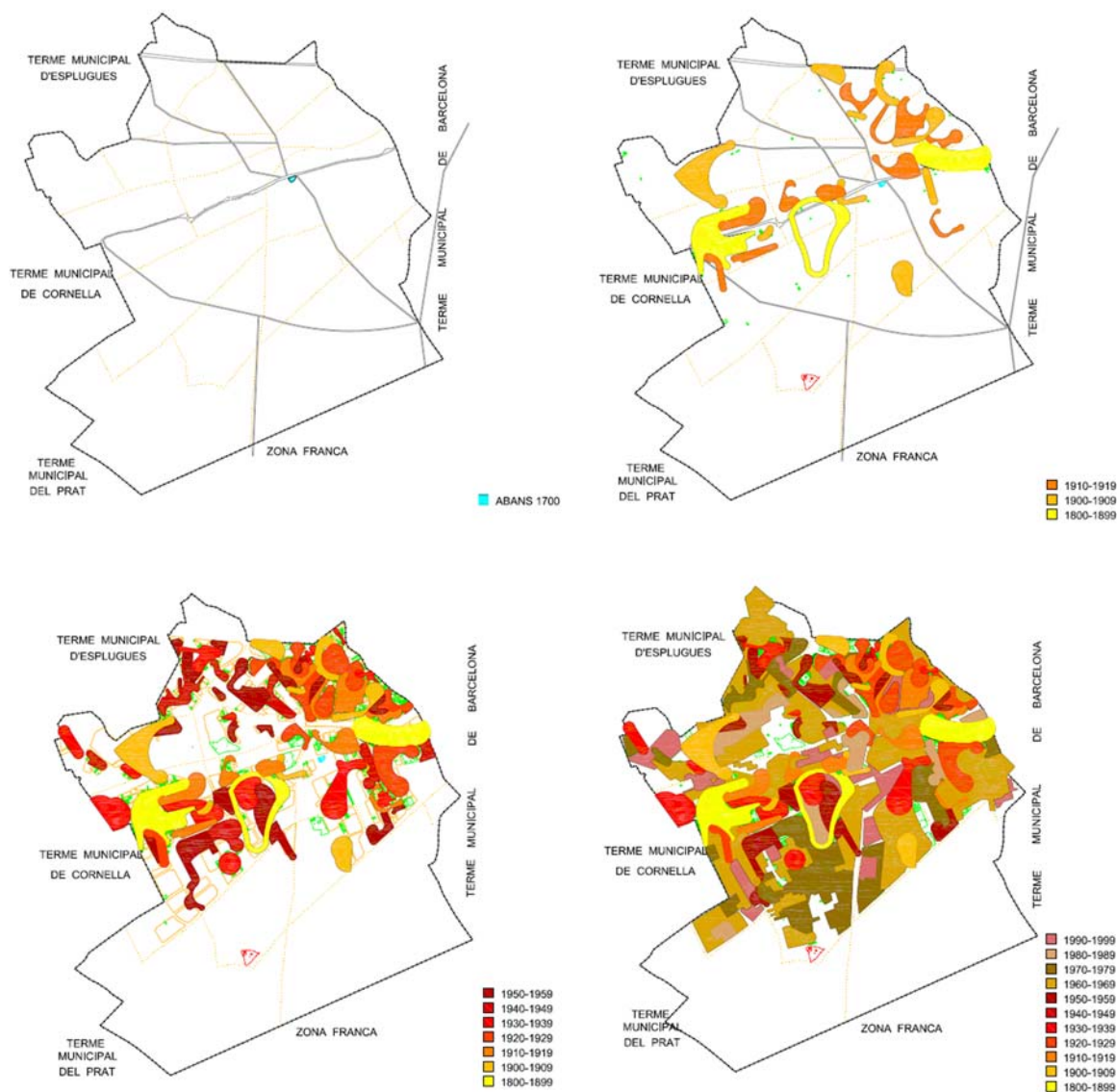


Figura 7.2 Evolución de L'Hospitalet de Llobregat entre 1700 y 1999

### 7.1.2. Jerarquización de la red viaria

Es a mediados del siglo XX cuando la red viaria sufre una transformación funcional, por la popularización del uso del automóvil, provocando la necesidad de plantearse un modelo de movilidad acorde con el carácter de ciudad mediterránea abierta al espacio público y con el fin

de aumentar la calidad de vida a través del *Pacte per a la mobilitat de L'Hospitalet* (2003, L'Hospitalet de Llobregat).

Dado que la Tesis Doctoral centra el punto de observación dentro del espacio urbano, configurado por sus calles, se considera de interés mostrar la clasificación en base a su anchura, longitud y grado de representatividad porcentual dentro de la red. En la Tabla 7.2 se muestra el inventario de las calles de L'Hospitalet de Llobregat.

Distribución según la anchura (a) de calles de la ciudad		
Anchura calles (m)	Longitud (km)	%
$0 < a < 8$	8,70	5,50
$8 \leq a < 11$	41,22	26,03
$11 \leq a < 15$	28,87	18,23
$15 \leq a < 30$	44,76	28,27
$30 \leq a$	34,80	21,97
<b>Total</b>	<b>158,35</b>	<b>100</b>

Tabla 7.2 Inventario de la relación de calles existentes (González, 2008)

En la redacción de las normas técnicas de urbanización de la ciudad, González (2008) propone una jerarquización de la red viaria mediante la clasificación en cuatro niveles, atendiendo a criterios de funcionalidad y coherencia con la articulación de la red actual de la ciudad. El autor expone una serie de secciones en planta y alzado, en base a las anchuras de las calles, así como las características de flujo de circulación de cada una de ellas, que se resumen en la Tabla 7.3.

A partir de esta información el estudio elaborado por Bosch (2012) sobre el tipo de uso funcionales de las calles de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat en base a sus características circulatorias, se establece que de las 417 vías que tiene en total la ciudad, 358 (85,9%) se consideran de circulación mixta, 49 (11,8 %) peatonales y de acceso restringido a los vehículos rodados, y 10 (2,4%) para otras tipologías, tal y como se representa en la Figura 7.3 (normalmente son aquellas calles a las que no se pueden acceder o que están en obras).

Nivel de funcionalidad	Características
Primero	Red básica de la ciudad
	Calles vertebrales
	Sección transversal mínima de 15 metros
	Calzada de doble sentido de circulación
Segundo	Red viaria de la ciudad
	Calles articulares
	Sección transversal mínima de 8 metros
	Calzada de un único sentido de circulación
Tercero	Tejido viario eminentemente local
	Calles vecinales
	Sección transversal mínima de 6 metros
	Calzada de un único sentido de circulación
Cuarto	Calles peatonales
	Sección transversal inferior a 6 metros

Tabla 7.3 Jerarquización de la red viaria (González, 2008)

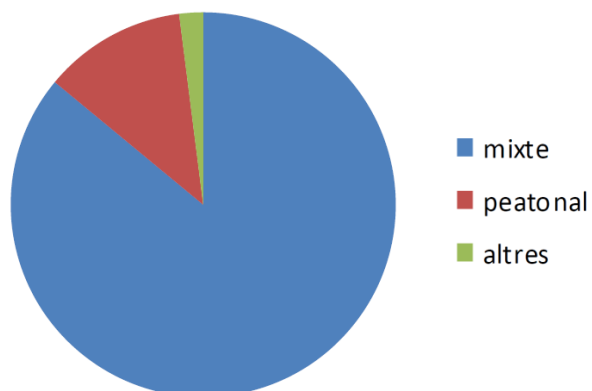


Figura 7.3 Tipos de usos (Bosch, 2012)

Las circunstancias que han promovido el crecimiento de la ciudad, a través de los años, como está configurada desde el punto de vista administrativo y las características de su red viaria nos permiten entender un determinado perfil de ciudad y abordar la estrategia adecuada para afrontar con mayores garantías las inspecciones de los elementos de interés.

## 7.2. Resultados de las primeras inspecciones

A pesar que la motivación de esta investigación no se centra en analizar los resultados obtenidos en las primeras inspecciones, realizadas sobre la ciudad, sí hemos entendido que es de interés mostrar el alcance y los logros obtenidos.

El proyecto en sus orígenes surge en el año 1997 a razón de un convenio de colaboración entre el Laboratorio de Edificación de la EPSEB y el Ayuntamiento de L'Hospitalet de Llobregat, en donde ambas instituciones firman un acuerdo para la creación de una "Catalogación de fachadas con determinación de su factor de riesgo", que se debía concluir antes del 2002. Gracias a ello y a entender la importancia de los hechos, el proyecto ha ido evolucionando hacia una vertiente con mayor aportación investigadora y de conocimiento. Esto nos sitúa, conjuntamente con el Departamento de Matemática Aplicada I y el Institut d'Estadística i Matemàtica Aplicada a l'Edificació, ante el objetivo principal de esta investigación para ajustar modelos matemático estadísticos que sean capaces de mejorar la predicción de la degradación de los frentes urbanos en base a los datos obtenidos.

Situados en esta problemática y tras cumplir con el programa del proyecto realizado para el Ayuntamiento de L'Hospitalet de Llobregat, consistente en la eliminación del riesgo de caída de fragmentos a la vía pública, que era el principal objetivo del encargo, el proyecto incorporó algunas mejoras mediante la aportación de la identificación y localización de otro tipo de lesiones existentes en las fachadas, así como de su tipología, magnitud y gravedad.

### 7.2.1. Muestra inicial

Sobre la ciudad se realizó un estudio poblacional en la mayoría de los barrios que la configuran para determinar el riesgo de accidentalidad potencial que se podía observar en las fachadas. Los resultados globales se muestran en la Tabla 7.4 que determina el total de inspecciones realizadas y el tipo de actuación derivada de su estado.

Otro tipo de análisis consistió en establecer, sobre la totalidad de la muestra de las fachadas, a qué barrio y a qué periodo constructivo respondían. Con todas ellas se generaron tablas y gráficos para agrupar las fachadas por décadas constructivas, ya que la edad podía ser un factor representativo de su estado. Al mismo tiempo, dichas fachadas se agruparon bajo idénticos condicionantes de afectación y propuesta de actuación.



Tamaño total de la Muestra				
Barrios	Núm inspect.	Actuaciones		
		A largo plazo	A medio plazo	A corto plazo
Collblanc	1.532	6.795 (49,8%)	5.871 (43,1%)	971 (7,1%)
Florida	946			
Pubilla Casas	1.335			
Torrassa	1.456			
Santa Eulàlia	1.474			
Centre	1.554			
Bellvitge - El Gornal	1.088			
Can Serra	516			
Carretera del Mig	1.476			
Les Planes	684			
Sant Josep	873			
Gran Via Sud - Pedrosa	296			
Sant Feliu	407			
<b>Total inspecciones</b>	<b>13.637</b>			

*Tabla 7.4 Muestra de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat y resultado de las actuaciones preventivas estimadas*

En la Tabla 7.5 se muestra, a modo de ejemplo, los resultados hallados en los edificios construidos entre los años 1970 y 1979 en todos los barrios de la ciudad.

Barrios	ACTUACIÓN POR DÉCADAS: 1970-1979					
	A largo plazo		A medio plazo		A corto plazo	
	%	Nº Fach.	%	Nº Fach.	%	Nº Fach.
Collblanc	4,2	1.182	5,0	1.220	6,2	219
Florida	9,3		8,4		3,8	
Pubilla Casas	7,1		4,9		1,9	
Torrassa	2,3		2,5		3,3	
Santa Eulàlia	4,1		4,2		7,1	
Centre	7,6		7,1		7,1	
Bellvitge - El Gornal	32,8		23,1		15,2	
Can Serra	10,3		22,5		17,5	
Carretera del Mig	10,0		11,4		18,0	
Les Planes	6,6		5,3		7,6	
Sant Josep	1,6		1,5		0,5	
Gran Via Sud - Pedrosa	2,7		0,4		0,0	
Sant Feliu	1,4		3,6		11,8	

<b>TOTAL FACHADAS (1970-1979)</b>	<b>2.621</b>
-----------------------------------	--------------

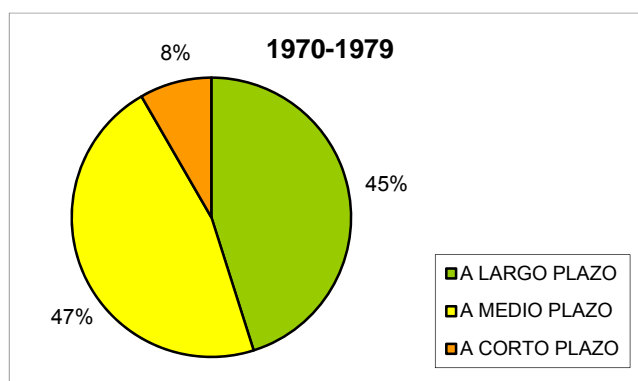


Tabla 7.5 Porcentajes de actuación en la década de 1970-1979 y resultado de las actuaciones preventivas estimadas

Los resultados globales se muestran en la Figura 7.4, que resume toda la información extraída a partir del resto del estudio de las distintas décadas en las que se ha fragmentado la población. De ello se desprende que la edad de construcción no parece ser un factor único y determinante para el mal estado en que se encuentran las fachadas, ya que en todas las décadas aparecen porcentajes muy parecidos en cuanto a su degradación. Cabe destacar el periodo comprendido entre las décadas 50-60-70 como los más críticos por la gran cantidad de fachadas construidas. Sin embargo, esta situación decrece a partir de los años 80.

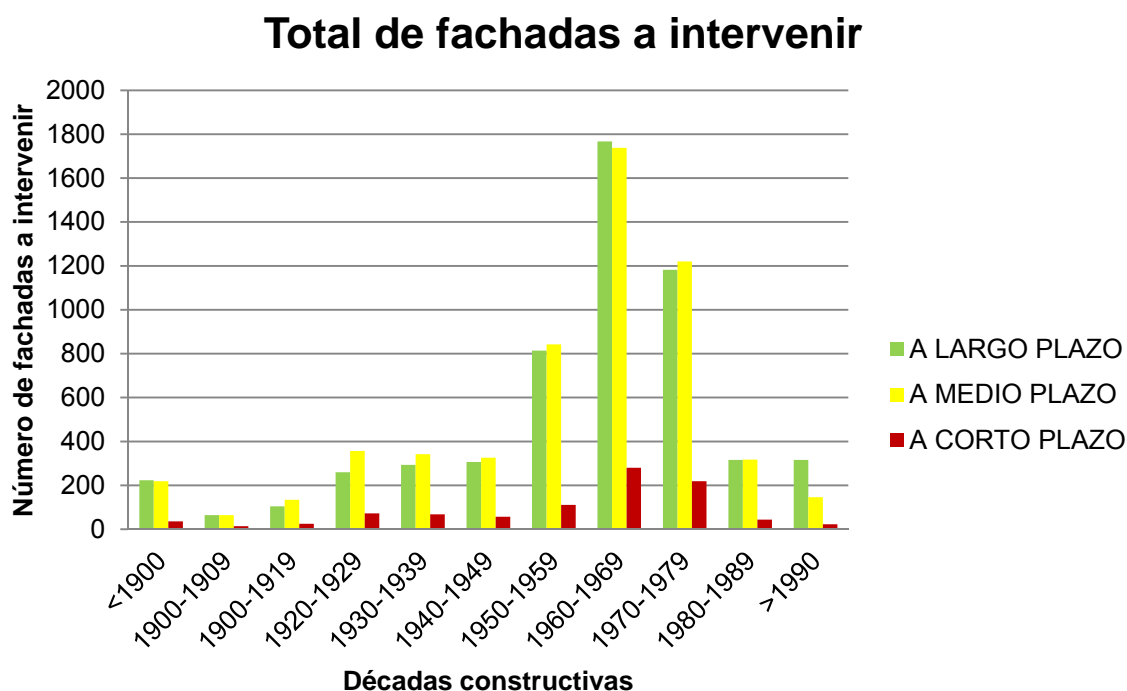


Figura 7.4 Gráfico resumen de L'Hospitalet de Llobregat, por décadas constructivas y actuaciones previstas

Queremos hacer hincapié que hasta ese instante sólo se disponía del estado de degradación de las fachadas puramente cualitativo, tanto desde el punto de vista de macro-estado de L'Hospitalet de Llobregat, como de micro si nos referimos a sus barrios, o unitario si nos centramos solo en cada una de las fachadas de la ciudad de forma independiente del resto.

Para introducir estudios de durabilidad sobre la muestra disponible, en primer lugar, se realizó la migración de las bases de datos existentes hacia archivos en formato Excel, para poder ser introducidos al programa S-PLUS en el que fue necesario incorporar formulación de rutinas específicas para la extracción de la información que se precisaba.

#### 7.2.2. Análisis descriptivo de lesiones

Los análisis se centraron en evaluar cada lesión en base a una magnitud determinada y para cada elemento constructivo existente en la fachada. Ello se realiza de forma independiente para las lesiones consideradas en tres niveles de gravedad; baja, media y alta. De acuerdo con los contenidos del Capítulo 5, todos los datos obtenidos se hallan censurados por la izquierda, porque en el momento de observación la lesión ya existía.

Después de los distintos estudios practicados sobre diferentes elementos, se pudo realizar un análisis global para observar el comportamiento de las 8 lesiones escogidas, para detectar cuales son más comunes, y para determinar cuáles se dan en una mayor gravedad y magnitud.

En la Figura 7.5 se presenta un gráfico de barras en el que se muestran los porcentajes del recuento de lesiones sobre los diferentes elementos constructivos de las fachadas, respecto al total de lesiones halladas (47.302). Por otro lado, la Figura 7.6 grafica los porcentajes del recuento de las distintas lesiones.

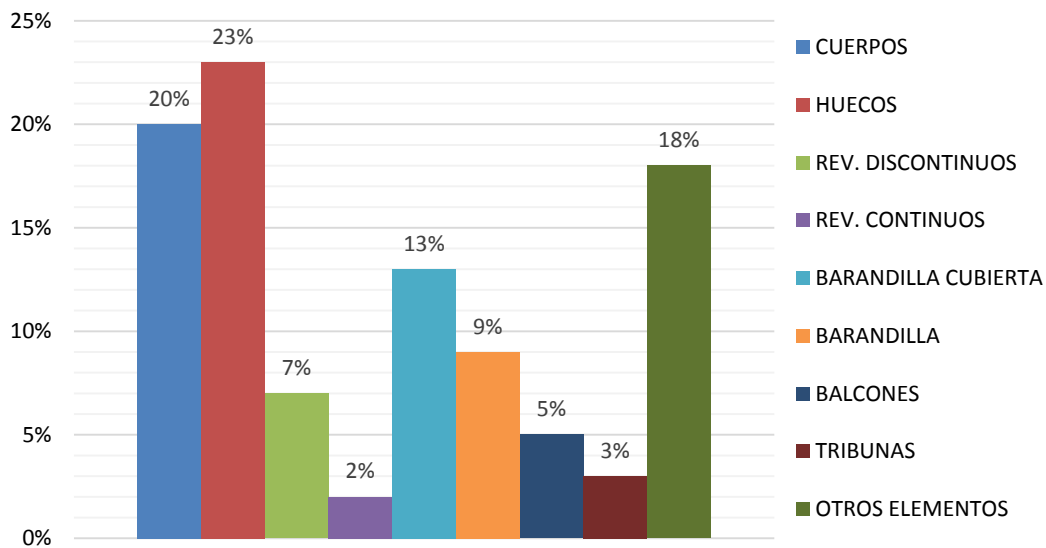


Figura 7.5 Porcentaje de lesiones en los diferentes elementos constructivos de las fachadas

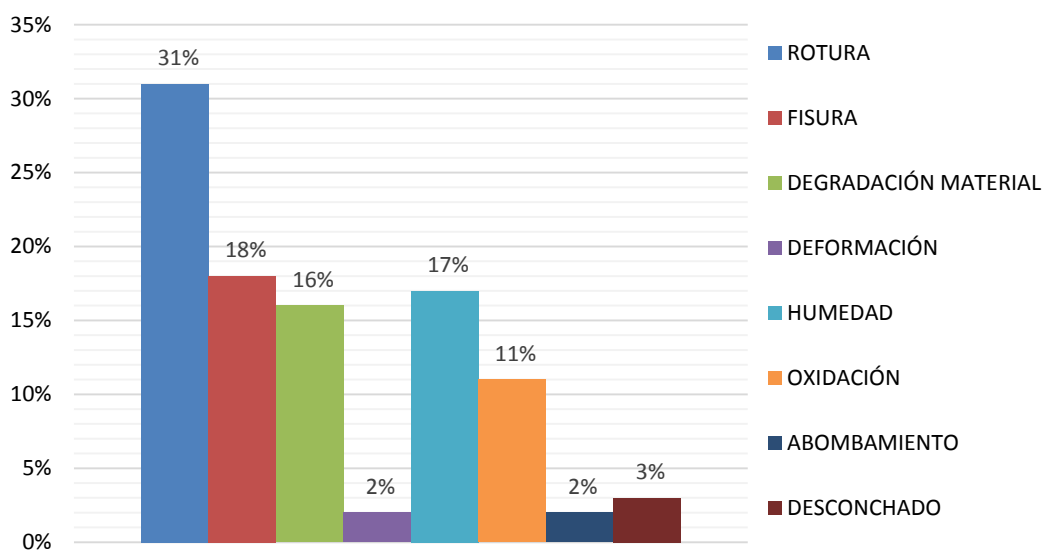


Figura 7.6 Porcentaje del recuento de las distintas lesiones

La Figura 7.7 estratifica la distribución de las distintas lesiones para cada uno de los elementos constructivos de las fachadas.

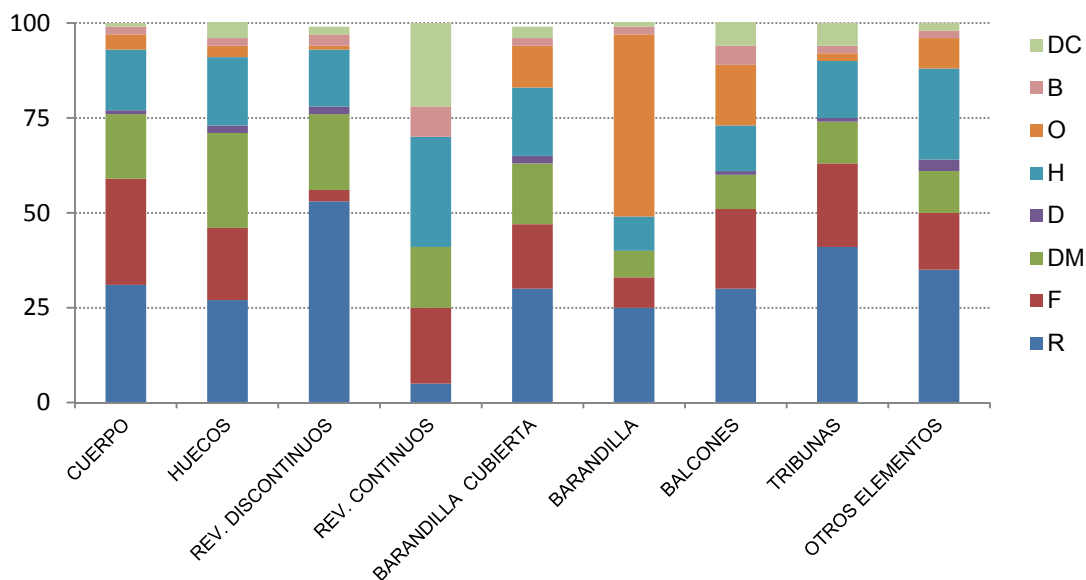


Figura 7.7 Porcentajes acumulados de lesiones en los distintos elementos

Los datos más destacados se sitúan por un lado en los revestimientos discontinuos, en los que más del 50% de sus lesiones son roturas y, por otro, en las barandillas, en las que encontramos que el mismo porcentaje de lesiones son oxidaciones/corrosiones.

### 7.2.3. Resumen de la primera fase de inspecciones

Para el interés de esta Tesis Doctoral se relacionan a continuación las principales aportaciones y limitaciones, de tipo metodológico, derivadas de la experimentación y análisis iniciales en aquella primera fase de inspecciones.

- El estudio se centra en el enfoque no paramétrico de la información, sobre una base de datos amplios y suficientemente robustos.
- El diseño de las fichas empleadas, para la toma de datos, contiene información no relevante para este estudio, y carece de otra que sería necesaria para futuros análisis de tipo univariado como por ejemplo orientación, impacto solar, contaminación, construcciones subterráneas existentes, etc.
- La migración de la información hacia S-PLUS, ha de ser más directa para evitar errores de transcripción.

- Asimismo, el estudio analiza de forma cualitativa los datos en base a análisis univariados, describiendo cómo las lesiones se distribuyen por su presencia y porcentaje de afectación sobre la totalidad, así como su evolución a lo largo del tiempo de vida de la fachada.
- El tipo de estimadores se establecen en función de la durabilidad y el riesgo, evaluados por elementos y materiales que forman parte de la fachada. Se crean unas gráficas que determinan las gravedades o, en su caso, las magnitudes, en sus distintos grados de afectación.

Con todo, la investigación realizada sobre una metodología de toma de datos masiva, unida a una herramienta de análisis estadístico, aplicado a un caso real, ha permitido arrojar luz sobre cómo se ha de tratar la información y cómo ésta mejora el grado de conocimiento de la durabilidad sobre el sistema fachada.

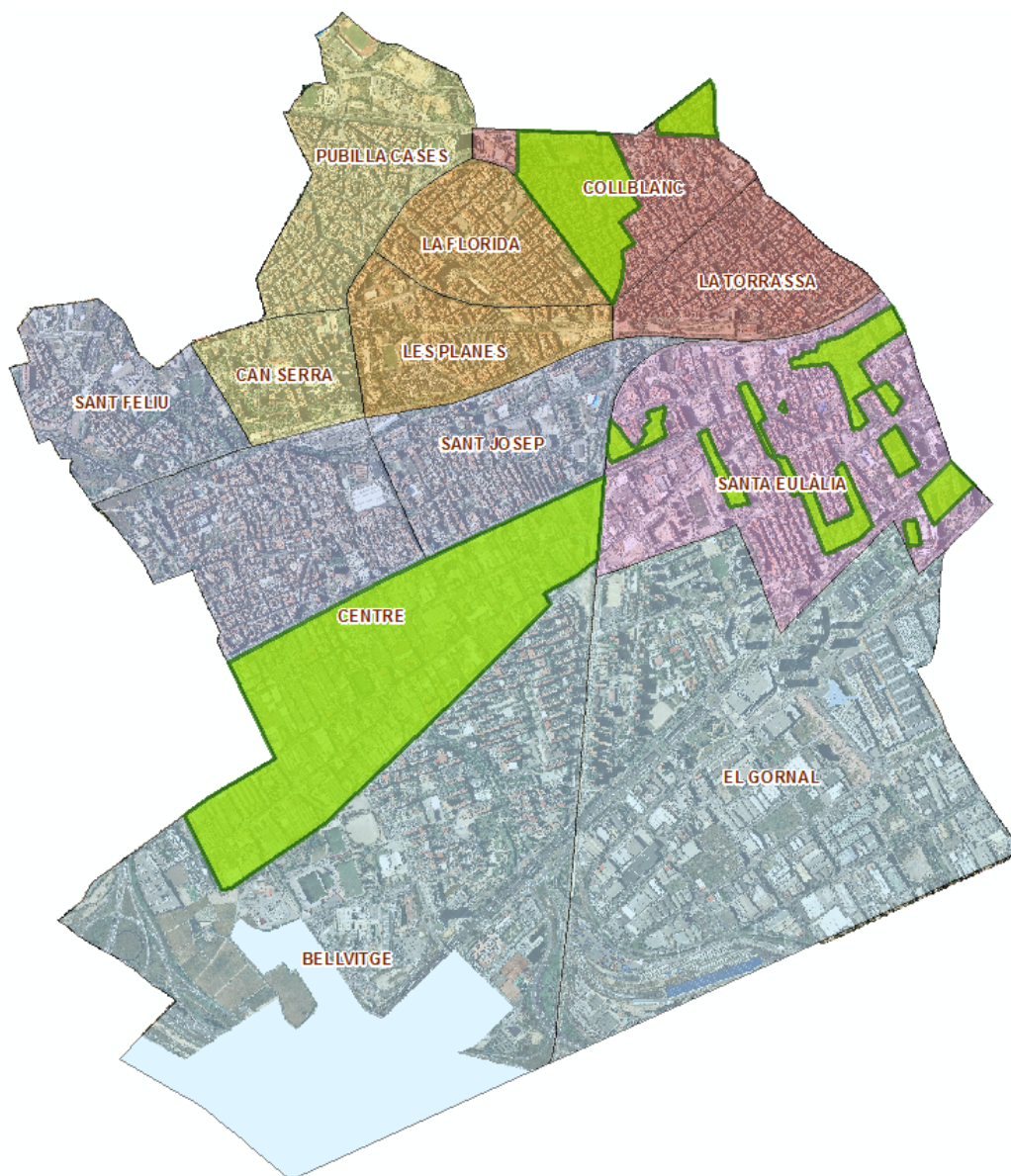
### 7.3. La reinspección de fachadas

La investigación ya ha acentuado el interés sobre las ventajas de incorporar segundas inspecciones sobre las fachadas, en nuestro caso, en la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat, como una de las vías para mejorar la información disponible y avanzar en el conocimiento de la degradación que sufren los frentes urbanos.

El protocolo que se ha seguido para realizar esta segunda campaña de inspecciones de fachadas, en el periodo 2013-2015, reproduce el planteamiento llevado a cabo en las primeras inspecciones, tanto en la utilización de las fichas de toma de datos, como en el proceso de selección de los candidatos inspectores y de su etapa formativa. Los candidatos surgen de una oferta de colaboración elaborada por el LABEDI y el IEAME como trabajo final de grado vinculado a tareas de soporte a la investigación que se lleva a cabo y que contempla la posibilidad de participar como estudiante en trabajos preliminares de carácter científico. La referencia bibliográfica de todos estos trabajos académicos se hallan en el Anejo A.

#### 7.3.1. Barrios reinspeccionados

Ante la imposibilidad de poder realizar una reinspección completa de todas las fachadas inspeccionadas en la primera inspección, la nueva muestra ha sido escogida de forma que abarque la mayor variabilidad constructiva de las fachadas existentes en la ciudad en estudio. Finalmente, las fachadas escogidas para ser reinspeccionadas han sido parte de las fachadas de los barrios del Centre, Collblanc y Santa Eulàlia. La Figura 7.8 ilustra la distribución de las zonas reinspeccionadas en cada uno de los barrios, resaltadas de color verde, dentro del territorio de L'Hospitalet de Llobregat.



*Figura 7.8 Distribución de las zonas inspeccionadas en L'Hospitalet de Llobregat en el periodo 2013-2015*

Como se puede observar, el barrio Centre es el que concentra la mayoría de las inspecciones realizadas y presenta una distribución geográfica más homogénea, mientras que en Collblanc se forman dos núcleos más reducidos, de inspecciones, situados al este y al norte del barrio. Santa Eulàlia, por otro lado, es el barrio que presenta más dispersión en cuanto a la ubicación de las inspecciones, no pudiendo, por lo tanto, delimitar una zona concreta pero sí alcanzar mayores impactos territoriales.

En todas las zonas señaladas, y que contienen un cierto número de fachadas a inspeccionar, con una primera inspección realizada, se ha procedido a recopilar toda aquella información útil para iniciar la reinspección de forma efectiva. Por ello se procedió primeramente a disponer de:

- Plano cartográfico de la zona.
- Base de datos, en formato .xls, con el listado de direcciones según catastro, año de construcción del edificio y número de inspección asignada.
- Fotografía en formato .jpg de cada una de las fachadas a inspeccionar.
- Fichas en formato .doc de los resultados de las primeras inspecciones de todas las fachadas.
- Documento de la metodología de trabajo llevado a cabo y estado de lesión, tipologías y magnitud hallada.

Con esa información se planteó un primer estudio de campo, por parte de los equipos de inspección, que consistía en determinar qué fachadas eran candidatas a ser reinspeccionadas por no mostrar signos de ningún tipo de alteración debida a reparaciones puntuales de mejora, reformas integrales o cambios de uso. Para ello se realizó una prospección fachada por fachada para seleccionar la muestra definitiva y eliminar aquellos casos claros o dudosos de la muestra.

Otros de los objetivos consistía en la verificación de la gravedad estimada de las lesiones halladas en las primeras inspecciones y que venían sujetas a un determinado tiempo de ocurrencia de siniestro y, por tanto, de una propuesta de intervención programada en base a dicha gravedad observada. En este sentido, podíamos encontrarnos con lesiones que han evolucionado en gravedad dentro de los tiempos que se prefijaron, otras que no han evolucionado y, por lo tanto, fueron sobreestimadas en cuanto a su gravedad. En estos casos, y para este estudio, se han reescalado los valores de las primeras inspecciones a valores de evoluciones más reales, reevaluando su gravedad y estimando de nuevo la gravedad actual, en base a la experiencia adquirida en la reinspección.

En cuanto a los eventos de tipos de lesión, sólo se ha de constatar su existencia y su evolución hacia otro tipo de lesión o de magnitud, así como la aparición de nuevas lesiones en los intervalos de tiempo acaecidos entre una inspección y la otra.

Contando, que formó parte de la formación de los inspectores, y después de unas inspecciones conjuntas en unas fachadas concretas para reunificar criterios y resolver dudas, se procedió a las inspecciones masivas de las zonas asignadas, con reuniones de seguimiento, semanales, al principio y quincenales después.

### **7.3.2. Actuaciones en los distritos I, II y III**

Dentro del distrito I se encuentra el barrio Centre que, a su vez, contiene el polígono de la Carretera del Mig, considerada como una zona en sus orígenes industrial y que fragmenta la estructura urbana de la ciudad entre los barrios Centre y Bellvitge. A partir del año 2004 la Comissió Territorial d'Urbanisme de Barcelona (CTUB) aprobó la Modificació Puntual del Pla General Metropolità (MPGM) por la renovación del área industrial, delimitada por la Calle Travessia Industrial, Riera



dels Frasers, Avinguda del Carrilet, Calle Fernandes, Carretera del Mig i Calle Arquimedes, para proceder a su renovación de su área industrial a residencial. El interés por esta zona estriba precisamente en su singularidad dentro de la trama urbana y el proceso de transformación de zona industrial a residencial.

El distrito II de L'Hospitalet de Llobregat está formado por los barrios Collbanc y La Torrassa, sin embargo ha sido el primero el barrio escogido para realizar las segundas inspecciones. Collblanc, conocido antiguamente como *Terrarios Albos*, empezó siendo un hostel, con tienda y taberna, compuesto por un caserón, de planta baja y piso, una cuadra y un establo para caballos, que el ayuntamiento arrendaba. Con el paso de los años, algunas industrias textiles y de vidrio se instalaron en la zona. Con el impulso de la inmigración, proliferaron los llamados *pasillos*, que venían a ser un conjunto de barracas legalizadas, viviendas unifamiliares modestas y los bloques de edificios. El futuro del barrio estaba marcado por el proyecto urbanístico bautizado como la "Porta Nord", previsto para el año 2010, que consolidaría como la auténtica puerta de entrada al L'Hospitalet de Llobregat.

El distrito III contiene el barrio Santa Eulàlia, cuyo crecimiento progresivo fue consecuencia de su cercanía a Barcelona, resultando ser, desde final del siglo XIX, la sede de industrias, sobre todo textiles, tales como las de Can Trinxet, la Tèxtil Pareto, Godó i Trias, la fábrica de la óptica Cottet, entre otras.

Después de una revisión parcial sobre las fachadas del laboratorio urbano, la Tabla 7.7 indica del total de las fachadas inspeccionadas en la primera fase, entre los años 1997 y 2001, en los barrios del Centre, Collblanc y Santa Eulàlia, cuántas de ellas pueden ser objeto de reinspección, a partir de 2013 hasta el 2015 en función de si han sido rehabilitadas, son fachadas medianeras o han sido derribadas, y por lo tanto, determinando cuántas de ellas podrían seguir en el estudio. De las 4.560 fachadas inspeccionadas entre 1997 y 2001, 1.308 son útiles para seguir en el estudio.

Barrio	Nº Fachadas de primera inspección	Fachadas reinspeccionadas				Total
		Útiles	Rehabilitadas	Medianeras	Derribadas	
Centre	1.554	805	420	157	94	1.476
Collblanc	1.532	356	217	8	155	736
Santa Eulàlia	1.474	147	297	15	8	467
<b>Total</b>	<b>4.560</b>	<b>1.308</b>	<b>934</b>	<b>180</b>	<b>257</b>	<b>2.679</b>

Tabla 7.6 Distribución de las fachadas reinspeccionadas en los distritos I, II y III

A diferencia de las primeras inspecciones en este apartado sólo se muestran las zonas sujetas a reinspección con su alcance cuantitativo de fachadas y se dejan los análisis de resultados alcanzados para el desarrollo del Capítulo 8.

Llegado a este punto, con los datos recogidos en las inspecciones de los barrios descritos, de acuerdo con la ficha tipo de inspección diseñada en el Capítulo 4, se procede de acuerdo a los planteamientos descritos en el Capítulo 6 a introducir en los distintos programas informáticos (Microsoft Acces, Excel, ArcGIS y QGIS) toda la información tanto de las primeras como de las segundas inspecciones y proceder a los análisis de durabilidad que se persiguen dentro de la Tesis Doctoral. Finalmente, durante el transcurso de la tesis, del total de 4.560 fachadas inspeccionadas en la primera fase se han reinspeccionado e introducido en el aplicativo 1.224 y de las fachadas inspeccionadas una sola vez, se han introducido un total de 754. Con el fin de ordenar la información en cuanto al número de inspecciones introducidas en el aplicativo y sus porcentajes de participación en el estudio de investigación, se ha confeccionado la Tabla 7.7 donde se puede apreciar que de un total de 1.978 fachadas disponibles, el 38,1% corresponden a una sola inspección mientras que el 61,9% dispone de dobles inspecciones. El barrio de Centre destaca por aportar un mayor número de fachadas inspeccionadas (62,1%) y, un a mayor proporción de fachadas reinspeccionadas (64,9%).

Distrito - Barrio	Número de inspecciones				Total
	1		2		
	$n_{ij}$	% →	$n_{ij}$	% →	$n_{ij}$
	% ↓	% ↘	% ↓	% ↘	% ↘
I – Centre	<b>431</b>	35,1	<b>797</b>	64,9	<b>1.228</b>
	57,2	21,8	65,1	40,3	62,1
II - Collblanc	<b>219</b>	40,9	<b>317</b>	59,1	<b>536</b>
	29,0	11,1	25,9	16,0	27,1
III – Sta. Eulàlia	<b>104</b>	48,6	<b>110</b>	51,4	<b>214</b>
	13,8	5,3	9,0	5,6	10,8
<b>Total</b>	<b>754</b>		<b>1.224</b>		<b>1.978</b>
		38,1		61,9	100,0

Tabla 7.7 Distribución de las fachadas según el número de inspecciones realizadas y el Distrito y Barrio al que pertenecen

En la Figura 7.9 se pueden visualizar sobre el territorio, mediante consulta a QGIS, cual es la ubicación de las 1.978 fachadas inspeccionadas que conforman la muestra de estudio y su distribución en la ciudad.



Figura 7.9 Mapa de situación de las 1.978 fachadas inspeccionadas de la muestra de estudio

#### 7.4. Resultados de la base de datos final

En este apartado el técnico analista, gracias a la herramienta de consulta diseñada dentro de la Tesis Doctoral, puede decidir resolver situaciones de índole técnico intuitivas que merezcan su atención o proceder de forma que los datos muestren cuales son los puntos de análisis más relevantes a partir de ciertas variables de interés. En nuestro caso se ha optado por atender las situaciones que, en base a la información disponible, ofrecen un mayor impacto frente a pérdidas de durabilidad a lo largo del tiempo.

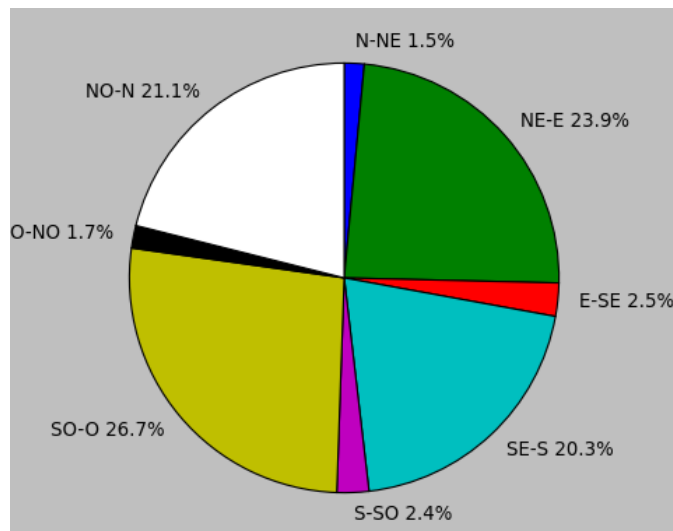
En consonancia con la teoría de [Davies y Jokiniemi \(2008\)](#) y las propuestas de fragmentación planteadas en la Sección 3.1 de la Tesis, donde se establece el uso como uno de los parámetros a considerar para determinar la durabilidad en una fachada, es necesario zonificar la fachada para su estudio. Esta información queda recogida en la ficha de información general que se muestra

en la Sección 4.3 en la Figura 4.10. En este sentido, se comprobó cuántas de las 1.978 fachadas de la muestra tenían informado el campo de uso del edificio, resultando que 22 fachadas no tenían informado el campo. Esta situación obligó a considerar 1.956 fachadas como base de partida de la nueva muestra de análisis.

Con la nueva muestra filtrada por disponer del campo de su uso, la sistemática de consultas que se va a seguir parte de realizar dentro del aplicativo FAD 0.1, en su módulo de Análisis, todas aquellas preguntas encaminadas a mostrar de una forma descriptiva en qué situación se halla la muestra de la totalidad de las 1.956 fachadas objeto de estudio dentro de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat. Para ello, seleccionada la muestra, se procede a consultar los resultados que se muestran en la pestaña descriptiva referenciando la orientación en la que se encuentran las fachadas dentro de la ciudad. En la Tabla 7.8 se describe el número de fachadas y su porcentaje según su orientación territorial y en la Figura 7.10 se representa el gráfico de la distribución en porcentajes según sus orientaciones.

	Count	Percent
N-NE	29	1.5
NE-E	467	23.9
E-SE	49	2.5
SE-S	397	20.3
S-SO	46	2.4
SO-O	523	26.7
O-NO	33	1.7
NO-N	412	21.1

*Tabla 7.8 Distribución de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación*



*Figura 7.10 Distribución de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación*

En base a la distribución establecida sobre la orientación solar de la Tabla 6.2, en función de su impacto, las que se hallan situadas en la orientación (N-NE, NO-N) representan el 22,6% de impacto bajo debido a la radiación solar, mientras que las que se hallan en las orientaciones (NE-E, E-SE, SO-O, O-NO) representan al 54,8% de las fachadas con un impacto medio y las situadas al (SE-S, S-SO) con un 22,7% estarán sometidas a un impacto alto.

Referente a la distribución del impacto territorial debido al cañón urbano en cuanto a los efectos del viento, el sol, la contaminación y la lluvia, según la relación que se produce entre la altura del edificio y el ancho de la vía en la que se encuentran los paramentos de las fachadas, la consulta muestra la Tabla 7.9 donde se puede observar que el número de fachadas expuestas a impactos altos respecto al viento es del 84,2%, mientras que el impacto alto del resto de fenómenos

medioambientales no supera en ningún caso el 20%. Sobre los impactos medios, en referencia al número de fachadas afectadas, oscilan entre 3,4% del sol al 0,6% del resto y en cuanto a los impactos bajos se mueven en intervalos del 84,7% para el sol o el 84,2% de la contaminación y lluvia, descendiendo al 15,2% en referencia al viento. Estos valores porcentuales también se han calculado en función de la superficie de las fachadas expuestas a los distintos niveles de impacto y se puede apreciar porcentajes similares a los obtenidos por el número de fachadas. Estos valores tienen mayor variabilidad en laboratorios urbanos con relaciones dimensionales más dispares entre las fachadas y pueden llegar a impactar de forma muy diferente.

	Low count	Low %	Medium count	Medium %	High count	High %
Wind	298	15.2	11	0.6	1647	84.2
Surface at risk (m2)	66302.4	19.0	1292.6	0.4	281048.8	80.6
Sun	1656	84.7	66	3.4	234	12.0
Surface at risk (m2)	282072.2	80.9	15165.4	4.3	51406.2	14.7
Contamination	1647	84.2	11	0.6	298	15.2
Surface at risk (m2)	281048.8	80.6	1292.6	0.4	66302.4	19.0
Rain	1647	84.2	11	0.6	298	15.2
Surface at risk (m2)	281048.8	80.6	1292.6	0.4	66302.4	19.0
<b>Global</b>		67.1		1.3		31.7
<b>Surface at risk (m2)</b>		65.3		1.4		33.3

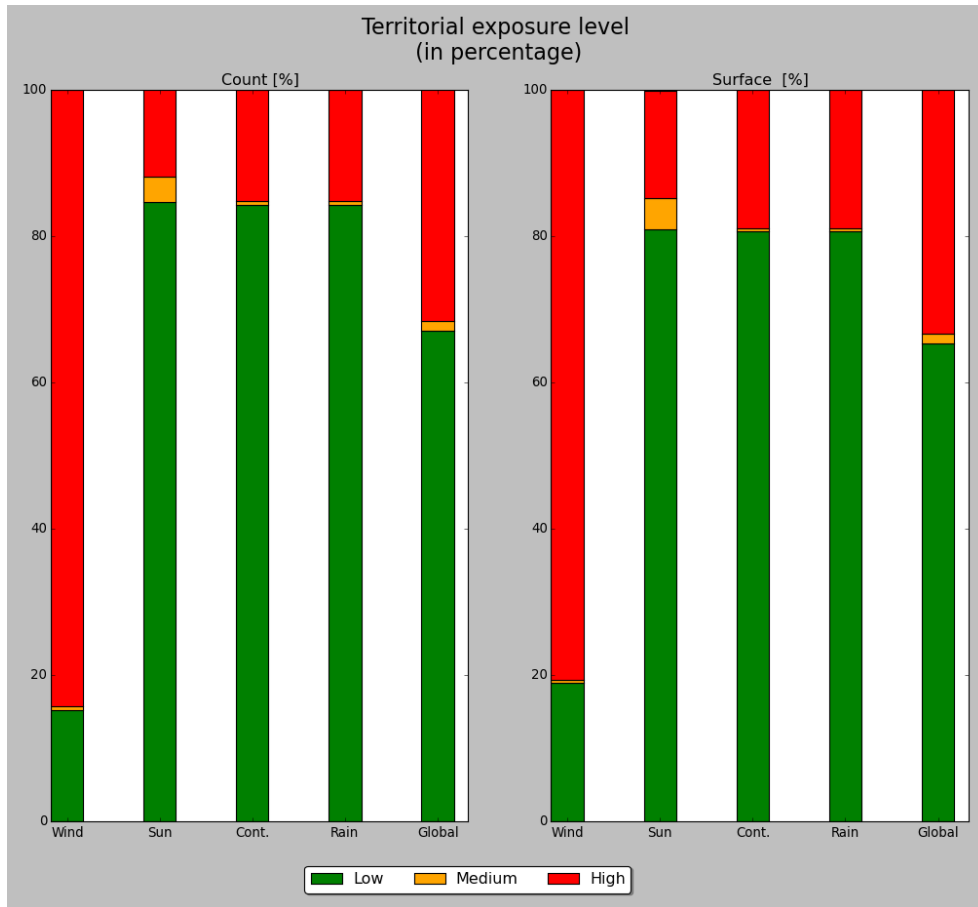
**Total equivalent surface: 348643.8 m2**

Plot Save Cerrar

*Tabla 7.9 Distribución en recuento y en superficie (y porcentual) de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental*

En términos globales la Tabla 7.9 también muestra que en promedio los porcentajes por unidades de fachada donde predomina el valor de impacto bajo son un 67.1% con respecto al 31,7% del alto y el 1,3% del medio. En otros términos, en la muestra de estudio podemos pensar que 2 de cada 3 fachadas están expuestas a un nivel bajo de impacto territorial, mientras que 1 de cada 3 lo es a un nivel alto. El análisis es análogo desde el punto de vista de superficie expuesta al impacto territorial. Es importante resaltar que el estudio se centra sobre un total de 348.643,8 m2 que da idea de la magnitud del frente edificado analizado.

De forma gráfica la Figura 7.11 izquierda, a partir de los datos de la Tabla 7.9, visualiza la distribución en porcentajes según el número de fachadas expuestas a distintos impactos medioambientales y a su derecha el impacto que representa sobre la superficie equivalente de las fachadas. Estos gráficos resaltan el viento como fenómeno medioambiental de mayor impacto en nuestro caso de estudio. Por otro lado, las distribuciones globales permiten intuir la no existencia de problemas extremadamente preocupantes desde un punto de vista de impacto territorial sobre la población de fachadas.



*Figura 7.11 Distribución porcentual, en recuento (izquierda) y en superficie (derecha), de las fachadas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental*

A partir de estos primeros análisis que muestran el estado general en que se encuentran las fachadas inspeccionadas de la ciudad, se hace necesario describir la muestra a partir de otros parámetros o variables de tipo territorial, de ubicación, altura sobre rasante, tipología de promoción y períodos constructivos, estratificados según el uso del edificio. El plugin FAD 0.1 permite confeccionar la Tabla 7.10 de acuerdo a estos objetivos.

La Tabla 7.10 está estructurada según el uso (vivienda, industrial y comercial) y de manera marginal según las categorías de cada variable de interés. Para cada uso y categoría se presentan el recuento de fachadas ( $n_{ij}$ ), el porcentaje por categoría ( $\% \rightarrow$ ), el porcentaje por uso ( $\% \downarrow$ ) y el porcentaje sobre la totalidad de la muestra estudiada ( $\% \searrow$ ).

Variables Generales		Uso						Total	
		Vivienda		Industrial		Comercial			
		n <sub>ij</sub>	% →	n <sub>ij</sub>	% →	n <sub>ij</sub>	% →	n <sub>ij</sub>	% ↘
		% ↓	% ↘	% ↓	% ↘	% ↓	% ↘		
Distrito - Barrio	I - Centre	<b>132</b>	10,9	<b>998</b>	82,5	<b>79</b>	6,5	<b>1.209</b>	61,8
		16,2	6,7	97,0	51,0	69,9	4,0		
	II - Collblanc	<b>489</b>	91,7	<b>23</b>	4,3	<b>21</b>	3,9	<b>533</b>	27,2
		60,1	25,0	2,2	1,2	18,6	1,1		
III – Santa Eulàlia		<b>193</b>	90,2	<b>8</b>	3,7	<b>13</b>	6,1	<b>214</b>	10,9
		23,7	9,9	0,8	0,4	11,5	0,7		
Alturas sobre rasante	PB	<b>54</b>	13,8	<b>297</b>	76,0	<b>40</b>	10,2	<b>391</b>	20,0
		6,6	2,8	28,9	15,2	35,4	2,0		
	PB + 1	<b>132</b>	0,3	<b>507</b>	74,2	<b>44</b>	6,4	<b>683</b>	34,9
		16,2	6,7	49,3	25,9	38,9	2,2		
	PB + 2	<b>157</b>	0,8	<b>102</b>	38,3	<b>7</b>	2,6	<b>266</b>	13,6
		19,3	8,0	9,9	5,2	6,2	0,4		
	PB + 3	<b>104</b>	1,0	<b>58</b>	33,5	<b>11</b>	6,4	<b>173</b>	8,8
	12,8	5,3	5,6	3,0	9,7	0,6			
PB + 4	<b>167</b>	0,7	<b>30</b>	14,9	<b>5</b>	2,5	<b>202</b>	10,3	
	20,5	8,5	2,9	1,5	4,4	0,3			
PB + 5	<b>119</b>	1,0	<b>13</b>	9,8	<b>0</b>	0,0	<b>132</b>	6,7	
	14,6	6,1	1,3	0,7	0,0	0,0			
PB + ≥ 6	<b>81</b>	0,7	<b>22</b>	20,2	<b>6</b>	5,5	<b>109</b>	5,6	
	10,0	4,1	2,1	1,1	5,3	0,3			
Promoción	Pública	<b>1</b>	50,0	<b>1</b>	50,0	<b>0</b>	0,0	<b>2</b>	0,1
		0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0		
	Privada	<b>813</b>	41,6	<b>1.028</b>	52,6	<b>113</b>	5,8	<b>1.954</b>	99,9
		99,9	41,6	99,9	52,6	100,0	5,8		
Períodos Constructivos	< 1900	<b>3</b>	30,0	<b>7</b>	70,0	<b>0</b>	0,0	<b>10</b>	0,5
		0,4	0,2	0,7	0,4	0,0	0,0		
	1900 - 1909	<b>3</b>	42,9	<b>4</b>	57,1	<b>0</b>	0,0	<b>7</b>	0,4
		0,4	0,2	0,4	0,2	0,0	0,0		
	1910 - 1919	<b>24</b>	88,9	<b>3</b>	11,1	<b>0</b>	0,0	<b>27</b>	1,4
		2,9	1,2	0,3	0,2	0,0	0,0		
	1920 - 1929	<b>45</b>	86,5	<b>3</b>	5,8	<b>4</b>	7,7	<b>52</b>	2,7
		5,5	2,3	0,3	0,2	3,5	0,2		
	1930 - 1939	<b>59</b>	84,3	<b>7</b>	10,0	<b>4</b>	5,7	<b>70</b>	3,6
		7,2	3,0	0,7	0,4	3,5	0,2		
	1940 - 1949	<b>60</b>	58,3	<b>33</b>	32,0	<b>10</b>	9,7	<b>103</b>	5,3
	7,4	3,1	3,2	1,7	8,8	0,5			
1950 - 1959	<b>170</b>	65,4	<b>76</b>	29,2	<b>14</b>	5,4	<b>260</b>	13,3	
	20,9	8,7	7,4	3,9	12,4	0,7			
1960 - 1969	<b>226</b>	40,2	<b>304</b>	54,1	<b>32</b>	5,7	<b>562</b>	28,7	
	27,8	11,6	29,5	15,5	28,3	1,6			
1970 - 1979	<b>149</b>	27,5	<b>376</b>	69,4	<b>17</b>	3,1	<b>542</b>	27,7	
	18,3	7,6	36,5	19,2	15,0	0,9			
1980 - 1989	<b>29</b>	16,2	<b>144</b>	80,4	<b>6</b>	3,4	<b>179</b>	9,2	
	3,6	1,5	14,0	7,4	5,3	0,3			
≥ 1990	<b>46</b>	31,9	<b>72</b>	50,0	<b>26</b>	18,1	<b>144</b>	7,4	
	5,7	2,4	7,0	3,7	23,0	1,3			
<b>Total</b>		<b>814</b>		<b>1.029</b>		<b>113</b>		<b>1.956</b>	
			41,6		52,6		5,8		100,0

Tabla 7.10 Distribución de variables de las fachadas según el uso del edificio

El barrio que aporta mayor número de inspecciones es el Centre con 1.209 fachadas que equivalentes al 61,8% del total, seguido de Collblanc con 533 que representan un 27,2% y por último Santa Eulàlia con 214 fachadas con 10,9% de la totalidad de la muestra. Obsérvese que el barrio Centre presenta un 82,5% de fachadas de tipo industrial, mientras que en los barrios de Collblanc y Santa Eulàlia predominan las fachadas destinadas a vivienda, 91,7% y 90,2%, respectivamente. En términos globales de la muestra, el 51% de las fachadas inspeccionadas están en el barrio del Centre y son de uso industrial, y el 25% están en Collblanc y son de uso vivienda.

En cuanto a las fachadas clasificadas por su altura, mayoritariamente las de tipo industrial muestran alturas bajas entre una y tres plantas con un porcentaje del 46,3% sobre el total de la muestra, mientras que los edificios de viviendas presentan unos resultados más distribuidos entre todas las alturas sin que destaque una sobre las otras.

En el caso del tipo de promoción, casi la totalidad de las fachadas, pertenecen al tipo de propiedad privada. En cuanto al uso, 813 pertenecen a vivienda y 1028 a industrial. Estos datos ilustran el fuerte impacto social de la muestra estudiada y la interferencia de la industria dentro del territorio urbano.

Por último, destacar los resultados que vienen a confirmar el fuerte impacto en el desarrollo de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat debido al fenómeno migratorio de la era industrial y que provocó entre los años 50 al 80 un crecimiento exponencial de la construcción. En conjunto durante estos años se construyó el 69,7% del total de las fachadas inspeccionadas. En la Figura 7.12 se muestra, sobre el plano de la ciudad, donde se hallan situadas las fachadas según su año de construcción y atendiendo a los tres periodos constructivos más significativos.

Bajo estas primeras aproximaciones de la muestra estudiada, en distintos barrios de la ciudad, de L'Hospitalet de Llobregat, corresponde ser consecuente con el interés manifestado en la Tesis Doctoral de centrarnos en los frentes urbanos alineados a vial y de uso residencial destinado a vivienda, por su fuerte impacto social. Así pues, se va a proceder a partir de aquí, y con objetivos exclusivamente de ilustración, al análisis de la submuestra de las 814 fachadas que corresponden a edificios destinados a vivienda. En la Figura 7.13 se pueden apreciar, en color rosado, la ubicación de las fachadas que conforman la submuestra y que pertenecen a edificios cuyo uso está destinado a la vivienda.

En este punto hacer hincapié que los análisis realizados, a partir de este instante, van a ser representativos para toda la población de fachadas de edificios de viviendas que presenten las mismas características que la muestra estudiada dentro de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat.





Figura 7.12 Situación de las fachadas clasificadas según su año de construcción atendiendo a tres periodos constructivos

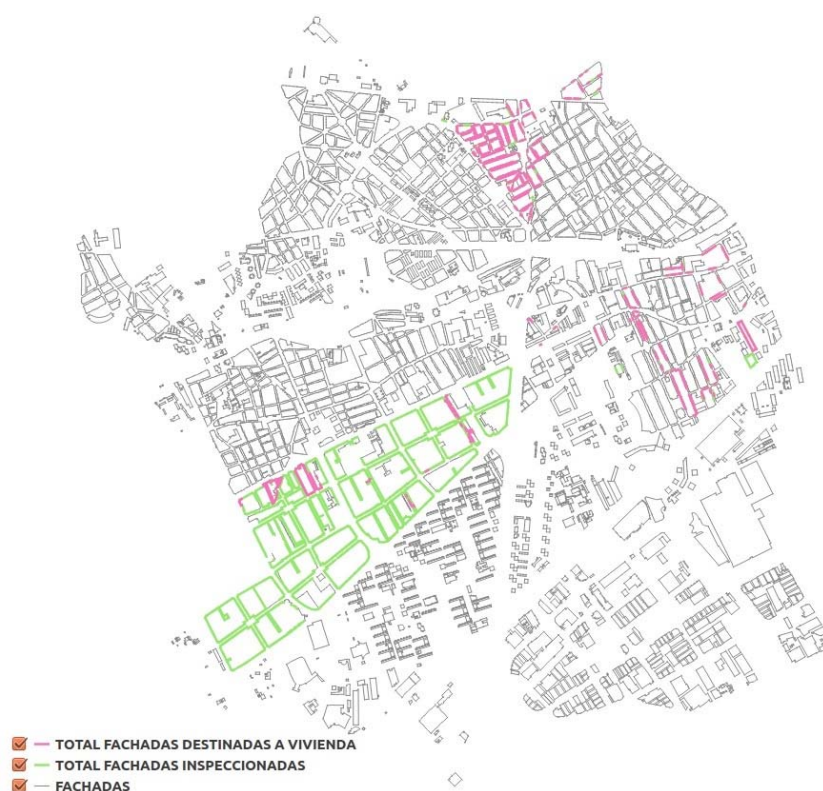


Figura 7.13 Situación de las 814 fachadas que conforman la submuestra de estudio

### 7.4.1. Análisis descriptivo por orientación e impacto territorial

Del mismo modo que se ha procedido con la totalidad de la muestra, se va a consultar dentro del aplicativo FAD 0.1, cuántas y cómo se hallan distribuidas las fachadas, de los edificios de viviendas, respecto a su orientación geográfica y exposición solar. En la Tabla 7.11e muestran los resultados numéricos y en la Figura 7.11 las fracciones gráficas porcentuales resultantes.

La nueva distribución arroja sobre el total de las 814 fachadas, cuatro fracciones destacadas, la orientación mayor es la SO-O con 224 fachadas, seguida de la NE-E con 213, la NO-N con 170 y por último la SE-S con 162 fachadas sobre el total. En cuanto al impacto por orientación la fracción (N-NE, NO-N) representan el 21,4% de impacto solar bajo, la fracción formada (NE-E, E-SE, SO-O, O-NO) representan al 57,0% con un impacto medio y el resto situado al (SE-S, S-SO) alcanzan el 21,6% de impacto alto.

	Count	Percent
N-NE	4	0.5
NE-E	213	26.2
E-SE	18	2.2
SE-S	162	19.9
S-SO	14	1.7
SO-O	224	27.5
O-NO	9	1.1
NO-N	170	20.9

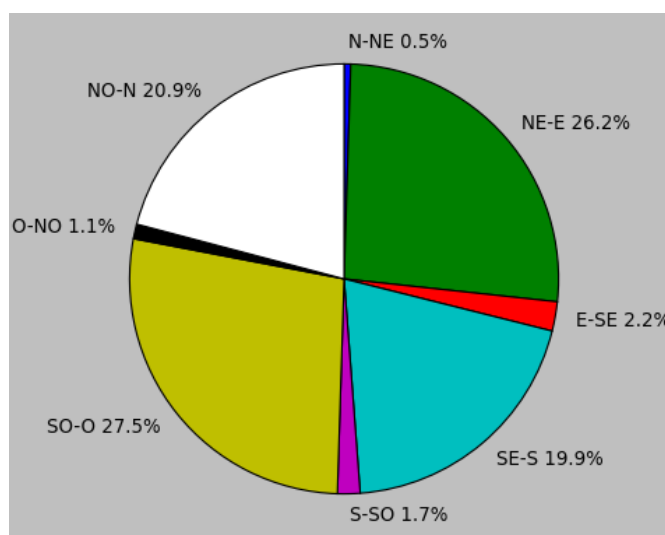


Tabla 7.11 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación

Figura 7.14 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según su orientación

La Tabla 7.12 y la Figura 7.15 reproducen el cálculo de los impactos territoriales debidos a exposiciones medioambientales de la Tabla 7.9 y de la Figura 7.11, respectivamente, para el caso de las fachadas de edificios de viviendas. Destacar que a pesar que se ha reducido la muestra de origen seguimos actuando sobre un total de fachadas con una superficie equivalente de 146.896,2 m<sup>2</sup>. Los resultados obtenidos no difieren de los hallados en la Tabla 7.9 y en cualquier caso mejoran en impacto bajo (% más altos) y alto (% más bajos). En estas circunstancias seguimos afirmando que las fachadas de la muestra no presentan efectos de alarma sobre el impacto territorial.

	Low count	Low %	Medium count	Medium %	High count	High %
Wind	39	4.8	9	1.1	766	94.1
Surface at risk (m2)	6568.2	4.5	1026.9	0.7	139301.1	94.8
Sun	769	94.5	7	0.9	38	4.7
Surface at risk (m2)	139692.9	95.1	903.2	0.6	6300.1	4.3
Contamination	766	94.1	9	1.1	39	4.8
Surface at risk (m2)	139301.1	94.8	1026.9	0.7	6568.2	4.5
Rain	766	94.1	9	1.1	39	4.8
Surface at risk (m2)	139301.1	94.8	1026.9	0.7	6568.2	4.5
<b>Global</b>		71.9		1.0		27.1
<b>Surface at risk (m2)</b>		72.3		0.7		27.0

**Total equivalent surface: 146896.2 m2**

Plot Save Cerrar

Tabla 7.12 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental

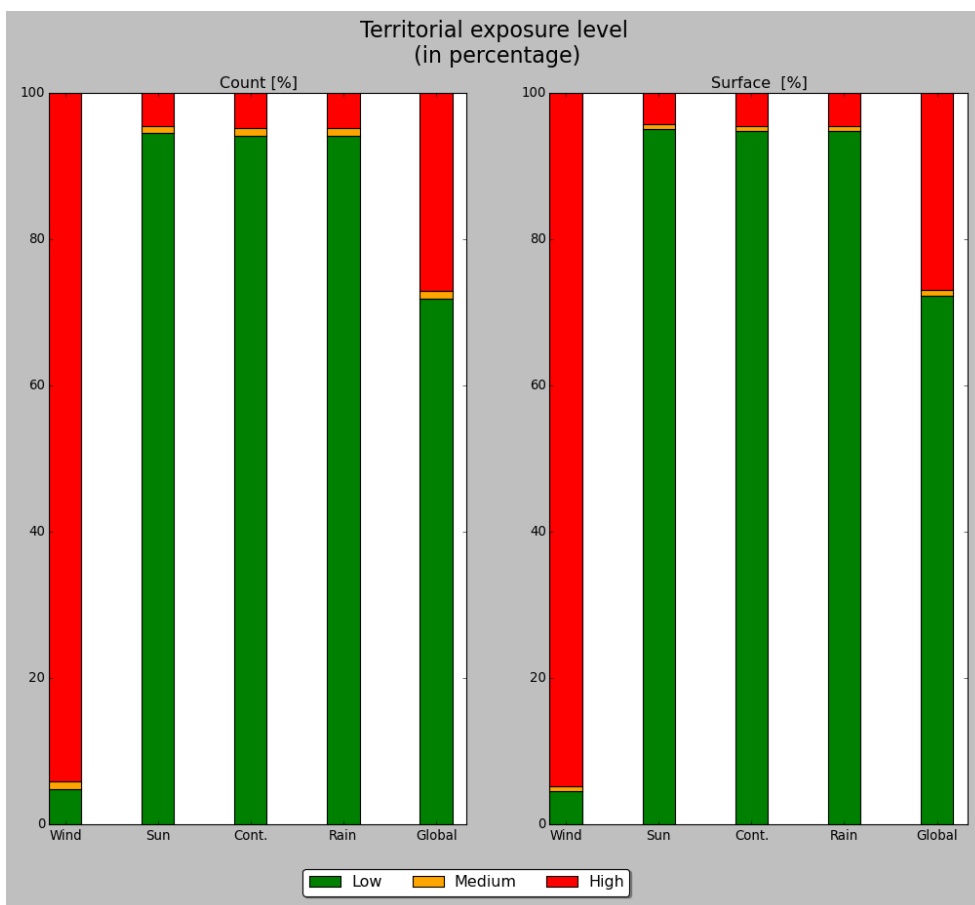


Figura 7.15 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat según el impacto medioambiental

### 7.4.2. Análisis descriptivo por tipología de revestimiento y morfología

Siguiendo con las consultas descriptivas a modo de ilustración y buscando qué circunstancias son relevantes en base a la información que generan los datos disponibles, en este apartado vamos a explorar la relación existente entre su morfología arquitectónica y el tipo de revestimiento de las fachadas. La consulta y sus resultados puede observarse en la Tabla 7.13 donde se relaciona la presencia y el tipo de revestimiento sobre una fachada con su morfología plana, plana con balcón, plana con tribuna o plana con balcón y tribuna. El formato de la Tabla 7.13 es análogo al de la Tabla 7.7 y Tabla 7.10.

Revestimiento	Morfología								Total	
	Plana		Plana con Balcón		Plana con Tribuna		Plana con Balcón y Tribuna			
	$n_{ij}$	% →	$n_{ij}$	% →	$n_{ij}$	% →	$n_{ij}$	% →	$n_{ij}$	% ↘
	% ↓	% ↘	% ↓	% ↘	% ↓	% ↘	% ↓	% ↘		% ↘
Discontinuo	<b>12</b>	14,8	<b>44</b>	54,3	<b>6</b>	7,4	<b>19</b>	23,5	<b>81</b>	
	3,7	1,5	13,7	5,4	11,3	0,7	16,2	2,3		10,0
Mixto	<b>27</b>	31,0	<b>31</b>	35,6	<b>3</b>	3,4	<b>26</b>	29,9	<b>87</b>	
	8,4	3,3	9,7	3,8	5,7	0,4	22,2	3,2		10,7
Continuo	<b>256</b>	44,4	<b>215</b>	37,3	<b>43</b>	7,5	<b>62</b>	10,8	<b>576</b>	
	79,3	31,4	67,0	26,4	81,1	5,3	53,0	7,6		70,8
Sin Revestimiento	<b>28</b>	40,0	<b>31</b>	44,3	<b>1</b>	1,4	<b>10</b>	14,3	<b>70</b>	
	8,7	3,4	9,7	3,8	1,9	0,1	8,5	1,2		8,6
<b>Total</b>	<b>323</b>		<b>321</b>		<b>53</b>		<b>117</b>		<b>814</b>	
		39,7		39,4		6,5		14,4		100,0

Tabla 7.13 Distribución de las fachadas de edificios de viviendas según su revestimiento y morfología

A partir de las valoraciones obtenidas se puede observar como el revestimiento continuo tanto en fachadas planas como en planas con balcón presentan el mayor número de individuos. Véase que las 256 fachadas planas con revestimiento continuo representan el 79,3% respecto a las 323 fachadas planas y un 31,4% sobre 814 totales y que las 215 fachadas planas con balcón y revestimiento continuo, su porcentaje se cifra en el 67,0% de las 321 fachadas planas con balcón y el 26,4% sobre la totalidad. El cómputo global de los revestimientos continuos arroja un total de 576 fachadas, con distintas morfologías, que representan el 70,8% de la totalidad de las fachadas de la muestra. En cuanto a la morfología, observamos que nuestro laboratorio urbano presenta casi un 80% de fachadas planas o planas con balcón.

### 7.4.3. Determinación de las lesiones de interés

Otra de las consultas que va a ser de interés, para el desarrollo de la investigación, consiste en averiguar cual es la distribución de los índices de gravedad ponderada, en función de las distintas tipologías, de las lesiones consideradas en el trabajo, con el fin de poder identificar cuáles resultan de interés, sea por su afectación o por el riesgo que representan. Los resultados se representan en la Figura 7.16 donde aparecen dos gráficos que responden a las ocho lesiones descritas en la Sección 3.4. El gráfico de la parte superior corresponde a los resultados del análisis a fecha de 31/12/2001, es decir a partir de los datos de las primeras inspecciones. Se puede observar como las humedades, con una media de afectación del 6,3% de la fachada, son la lesión con mayor afectación. Le sigue la degradación con una media del 5,4% seguido de las fisuras con una media del 2,8%.

El gráfico muestra en azul qué proporción de fachadas tienen un índice de gravedad ponderada en los intervalos  $[0,5)$ ,  $[5,10)$ ,  $[10,15)$ , ...,  $[95,100)$ , respectivamente. Notesé en verde la proporción de fachadas no afectadas por la lesión. En particular obsérvese que aproximadamente un 50% de las fachadas tenían una afectación por humedad superior al 5% de la fachada.

El resto de lesiones también salen descritas pero con impactos sobre las fachadas menores. En detalle podemos ver que más de un 95% de la muestra presenta una afectación menor al 5% de la fachada, en cuanto a desprendimientos, deformación, corrosión, abombamiento y desconchado se refiere.

Más aún, obsérvese que en todas las gráficas sobre la primera barra azul se le superpone otra de color verde que de forma porcentual marca aquellas fachadas que aún no han presentado este tipo de lesión. El valor mínimo para estas 5 lesiones es aproximadamente del 40%.

En la parte inferior de la Figura 7.16 se muestran los resultados en base a las segundas inspecciones hasta el año 2016 (fecha de análisis 17/10/2016). Los resultados sobre las fachadas reinspeccionadas siguen mostrando que la lesión con una mayor afectación, en las fachadas siguen siendo las humedades con valores de media 9,0%, la degradación con una media de 8,2% y las fisuras con una media de 2,8%.

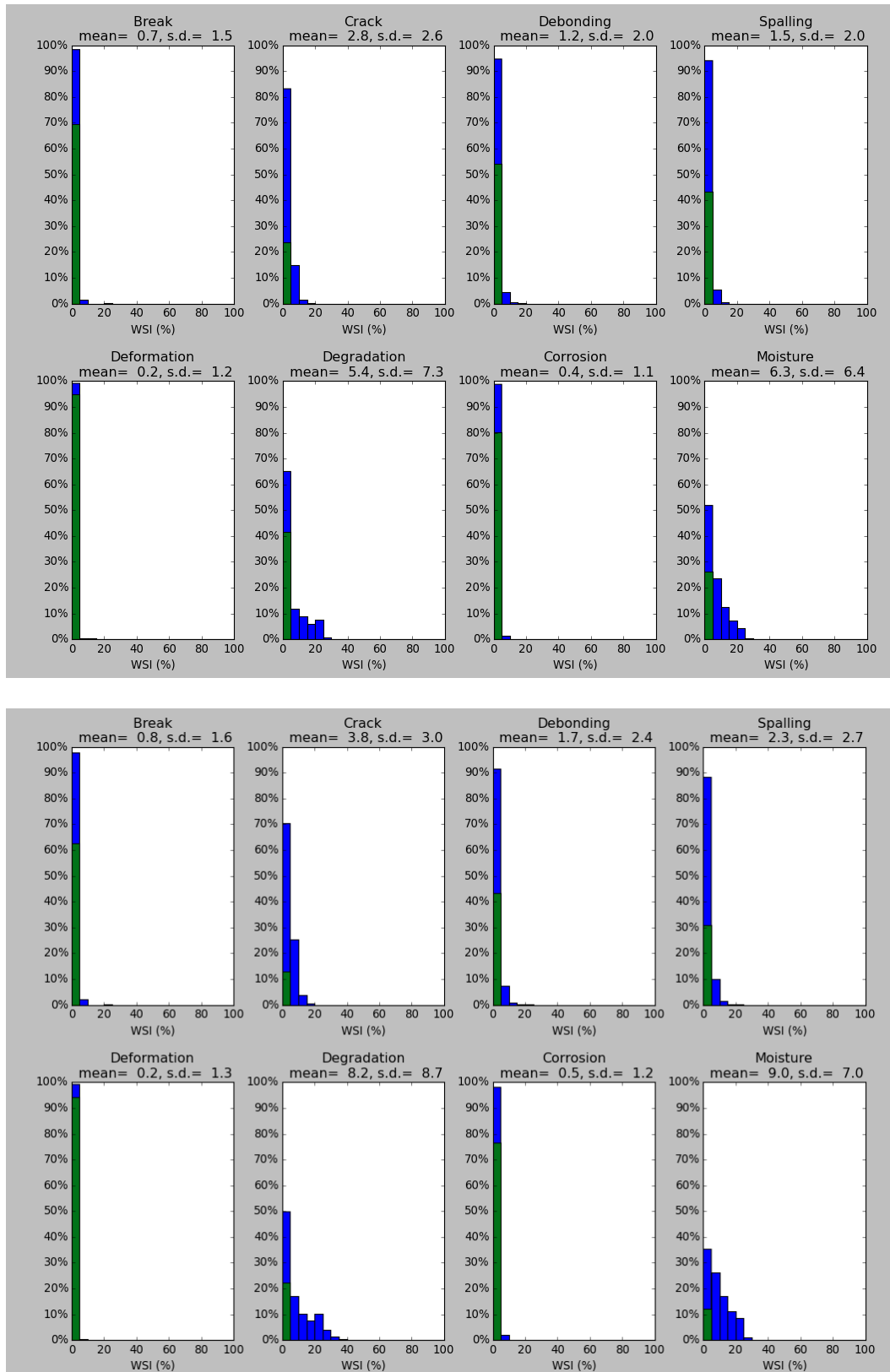


Figura 7.16 Distribución de los índices de gravedad ponderada según la tipología de lesión de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet a fecha 31/12/2001 (superior) y 17/10/2016 (inferior)

Donde aparecen las mismas lesiones pero con resultados mejorados, respecto a los anteriores, es debido a una mayor información sobre las lesiones. No podemos dejar pasar por alto esta circunstancia ya que reafirma la teoría que segundas inspecciones van a dejar entrever una mejora de la información y un ajuste mayor para la predicción en la aparición de la lesión en las fachadas. Tengase en cuenta que a nivel general la mejora de la información se ha producido en todas y cada una de las lesiones estudiadas.

A partir de la información obtenida, nuestra investigación dentro del módulo estadístico de análisis de supervivencia, tendría que centrarse fundamentalmente en la lesión de la humedad por ser la más común y de mayor progresión en los 15 años entre inspecciones, en los elementos que formalizan los frentes urbanos de edificios de viviendas de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat.

Donde aparecen las mismas lesiones pero con resultados mejorados, respecto a los anteriores, es debido a una mayor información sobre las lesiones. No podemos dejar pasar por alto esta circunstancia ya que reafirma la teoría que segundas inspecciones van a dejar entrever una mejora de la información y un ajuste mayor para la predicción en la aparición de la lesión en las fachadas. Tengase en cuenta que a nivel general la mejora de la información se ha producido en todas y cada una de las lesiones estudiadas.

A partir de la información obtenida, nuestra investigación dentro del módulo estadístico de análisis de supervivencia, tendría que centrarse fundamentalmente en la lesión de la humedad por ser la más común y de mayor progresión en los 15 años entre inspecciones, en los elementos que formalizan los frentes urbanos de edificios de viviendas de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat. Sin embargo para asegurar la decisión sobre la lesión a estudiar, vamos a proceder a determinar cual es el incremento en porcentaje del valor estandarizado de la media en este periodo de 15 años. En la Tabla 7.14 se muestran los valores estandarizados de la media de afectación, para cada una de las lesiones en la Figura 7.16, así como su respectivo incremento. Se puede observar como las humedades pasan de una media de 6,3% y una desviación estándar de 6,4% que corresponde a un valor estandarizado de la media de 27,69, en la fecha 31/12/2001 con una muestra de 791 fachadas, a unos valores en fecha 17/10/2016, con una muestra de 814 fachadas debidas a las reinspecciones, en donde la lesión humedad toma valores para la media de 9,0%, su desviación pasa a ser de 7,0% y el valor estandarizado de 36,68 obteniendose un incremento de dicho valor de +32,5% y que reafirma que la humedad sigue siendo la lesión de interés frente al resto de lesiones que alcanzan incrementos menores.

Lesiones	31/12/2001, n = 791			17/10/2016, n = 814			$\Delta$ (%)
	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	Z	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	Z	
Desprendimiento	0,7	1,5	13,12	0,8	1,6	14,27	+8,7
Fisuras	2,8	2,6	30,29	3,8	3,0	36,14	+19,3
Abombamiento	1,2	2,0	16,87	1,7	2,4	20,21	+19,8
Desconchado	1,5	2,0	21,09	2,3	2,7	24,30	+15,2
Deformación	0,2	1,2	4,69	0,2	1,3	4,39	-6,4
Degr. Material	5,4	7,3	20,80	8,2	8,7	26,89	+29,3
Corrosión	0,4	1,1	10,23	0,5	1,2	11,89	+16,2
Humedad	6,3	6,4	27,69	9,0	7,0	36,68	+32,5

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,  $\hat{\mu}$  = media muestral,  $\hat{\sigma}$  = desviación tipo muestral,  $Z = \frac{\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$

De manera análoga, el aplicativo FAD también nos permite calcular y graficar la distribución del índice de gravedad que presentan las distintas partes en las que se ha dividido la fachada, en cuanto a su morfología. En la Figura 7.17 se pueden observar los gráficos de las cuatro partes morfológicas de la fachada con el número de elementos que están a riesgo, el valor de la media de afectación y su desviación estándar.

Para la discusión de los resultados podemos observar los valores de la Tabla 7.15 que nos muestra como el cuerpo y la barandilla de cubierta obtienen unos valores estandarizados de las medias mayores que el resto de las partes en las que se descompone la fachada, entre las dos fechas de interés, con valores que varían del 29,60 al 35,97 y del 27,34 al 35,57, respectivamente.



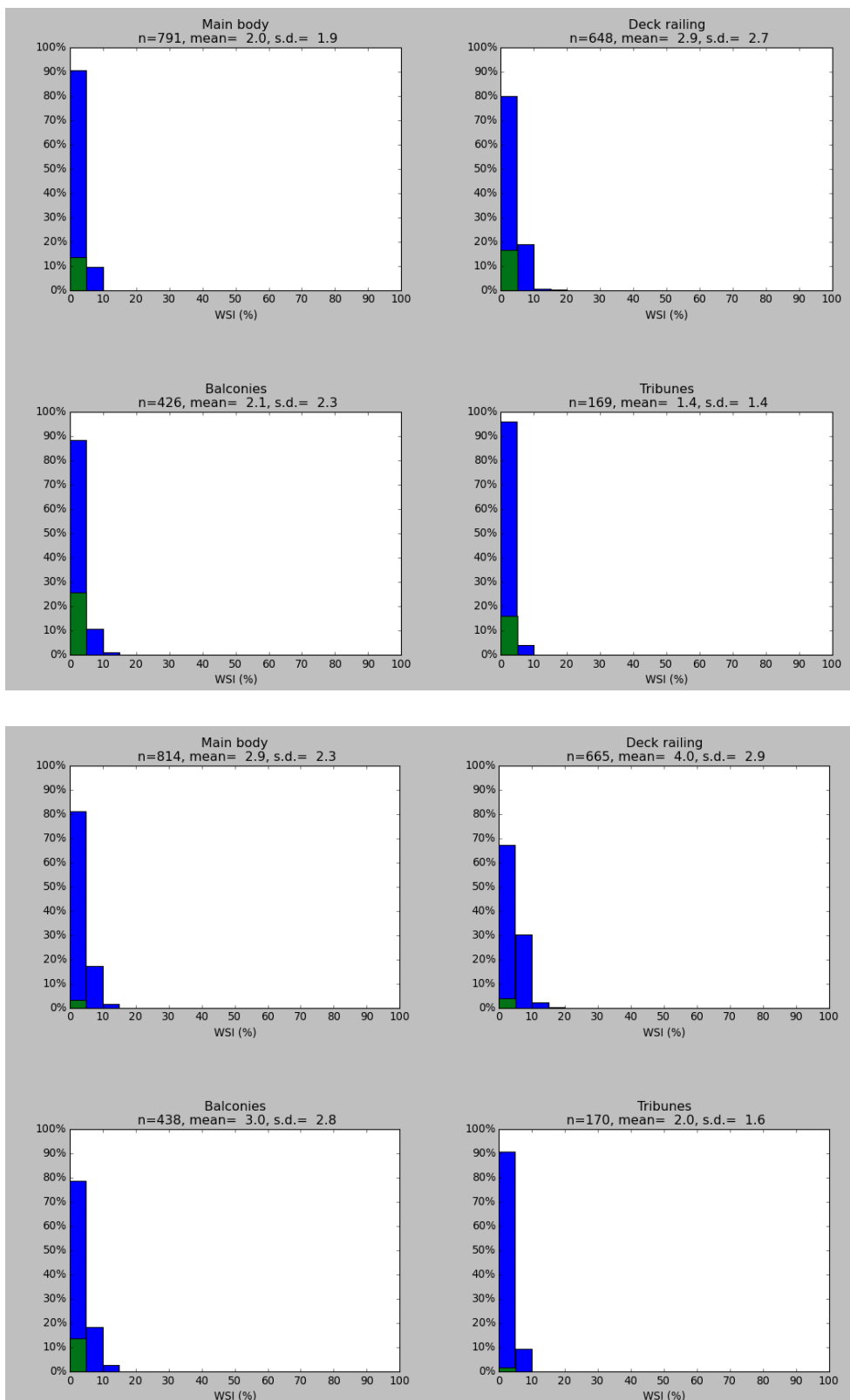


Figura 7.17 Distribución de los índices de gravedad ponderada según la parte de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat a fecha 31/12/2001 (superior) y 17/10/2016 (inferior)

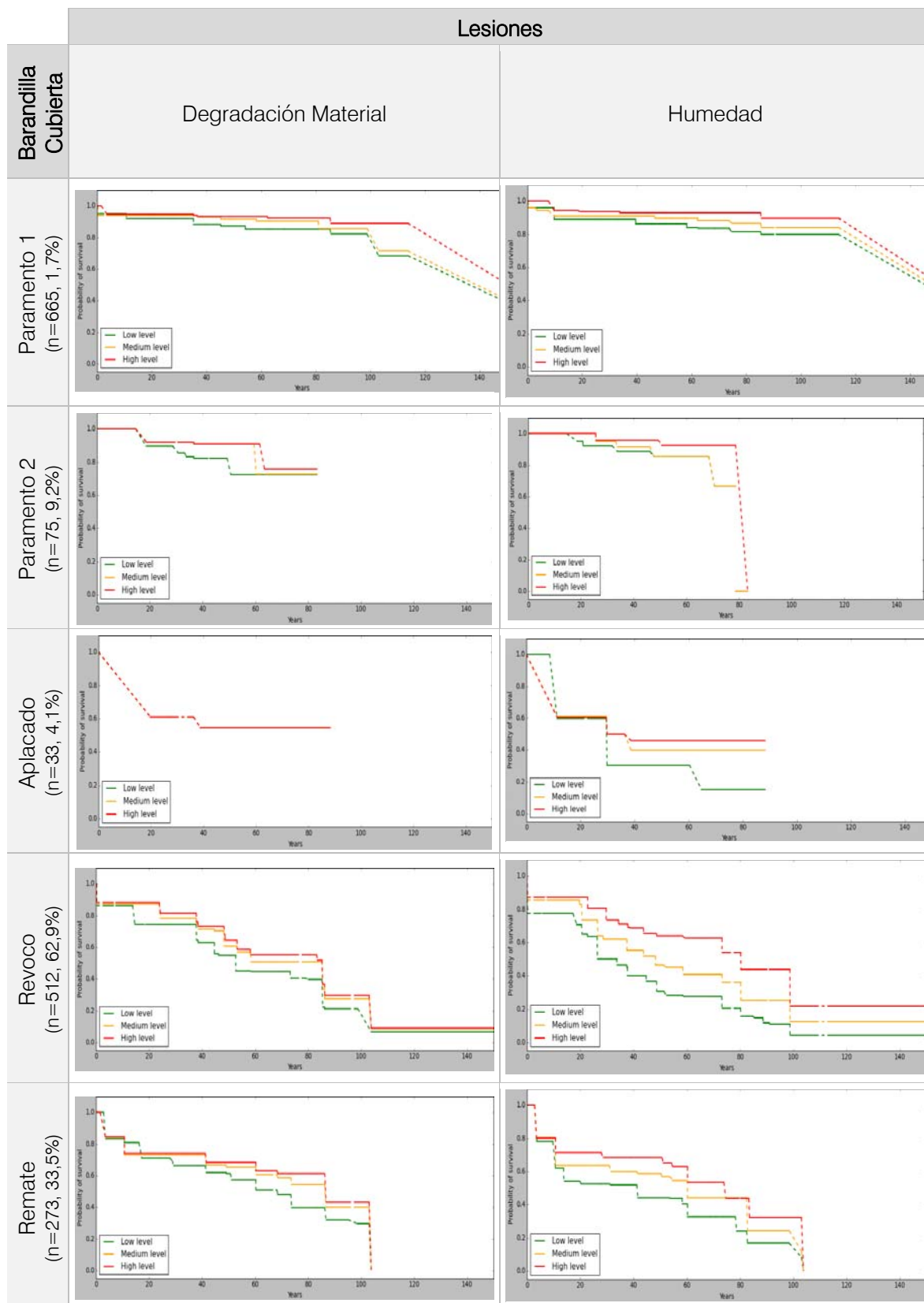
Atendiendo a los valores de los incrementos y al número de fachadas a riesgo de la Tabla 7.15 escogeremos el elemento barandilla de cubierta, para profundizar en su estudio, en base a su incremento porcentual del valor estandarizado del +19,3%.

Partes	31/12/2001				17/10/2016				$\Delta$ (%)
	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$n$	$Z$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$n$	$Z$	
Cuerpo	2,0	1,9	791	29,60	2,9	2,3	814	35,97	+8,7
Barandilla de Cubierta	2,9	2,7	648	27,34	4,0	2,9	665	35,57	+19,3
Balcones	2,1	2,3	426	18,85	3,0	2,8	438	22,42	+19,8
Tribunas	1,4	1,4	169	13,00	2,0	1,6	170	16,30	+15,2

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,  $\hat{\mu}$ = media muestral,  $\hat{\sigma}$ =desviación tipo muestral,  $n$ = número de fachadas a riesgo,  $Z = \frac{\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$

Para fijar una lesión de interés para desarrollar, a modo metodológico y, a su vez, ilustrar las posibilidades de estimación y modelización en el siguiente capítulo, nos centraremos, según los resultados anteriores, en el elemento constructivo de barandilla de cubierta de las fachadas de los edificios de viviendas para determinar la función de durabilidad por magnitud de las lesiones degradación de material y humedad, de los elementos asociados a la barandilla de cubierta.

En la Tabla 7.16 se muestran dos columnas con los gráficos resultantes de la estimación de la función de supervivencia por magnitud, en función del tipo de lesión y el elemento de interés que forman parte de la barandilla de la cubierta. Cada uno de los gráficos muestra el número de fachadas a riesgo, su porcentaje, así como tres curvas que describen la afectación puntual, local o general, respectivamente, para cada elemento. A partir de los gráficos concluimos que resulta de mayor interés, por el número de fachadas a riesgo, su afectación y progresión entre magnitudes, estudiar y modelizar el tiempo hasta la aparición de humedades de magnitud puntual en los revocos de la barandilla de cubierta. Este será el objetivo del Capítulo 8 de esta Tesis Doctoral.



*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*

## Capítulo 8

### CASO DE ESTUDIO (2/2): APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA Y MODELIZACIÓN DEL TIEMPO HASTA EL FALLO

A modo ilustrativo, para mostrar el potencial del plugin FAD como herramienta de estimación del tiempo de deterioro o durabilidad de las fachadas, retomamos como evento de interés el propuesto al final del Capítulo 7. Así pues, nos centraremos en ilustrar la evolución de humedades en revocos de las fachadas de edificios de viviendas, independientemente del material, en la zona de la barandilla de cubierta. Como se ha visto al final del Capítulo 7, del parque edificado e inspeccionado de L'Hospitalet de Llobregat, están a riesgo de sufrir esta lesión 512 fachadas.

En una primera sección abordaremos la componente predictiva de forma marginal, es decir sin tener en cuenta potenciales variables explicativas, para en un siguiente paso presentar la introducción en el modelo de aquellas variables que de forma significativa intervengan en el proceso de deterioro.

#### 8.1. Técnicas de análisis de supervivencia en estudios de durabilidad

Mediante el módulo de Análisis del plugin FAD estudiaremos las funciones de supervivencia para los tres niveles de magnitud (Puntual, Local y General) de las fachadas que están en riesgo de sufrir una humedad en el revoco de la barandilla de cubierta.

La Figura 8.1 es el resultado de la acción *plot* del submódulo de supervivencia del módulo *Analysis* de FAD para la lesión humedades en los revocos de la zona de la barandilla de cubierta de las fachadas de edificios de viviendas por magnitud. La tabla de resultados que acompaña al gráfico de las curvas de durabilidad se estructura en tres zonas diferenciadas; las tres columnas de la izquierda (cabecera en color magenta) recogen el porcentaje de observaciones censuradas por la izquierda, en un intervalo o por la derecha respecto el total, respectivamente, por magnitud. Las cuatro columnas siguientes (cabecera en color azul) informan de la edad de las fachadas hasta alcanzar un porcentaje de fachadas que fallan. Las columnas de la derecha (cabecera en color verde) indican el porcentaje de fachadas que presentan una lesión en una edad prefijada.

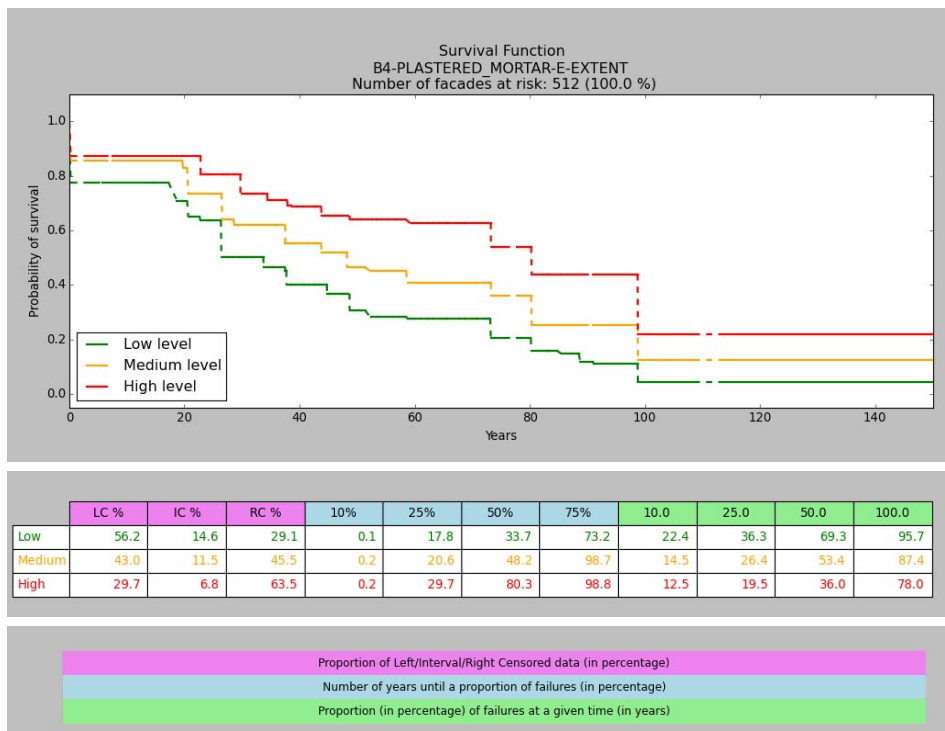


Figura 8.1 Funciones de supervivencia y tabla de resultados para la lesión humedades en revocos en las barandillas de cubierta de viviendas por magnitud

De la Figura 8.1 cabe destacar la columna de proporción de datos censurados en un intervalo (IC). Estos son fruto de la realización de dos inspecciones sobre una misma fachada, y por lo que se puede ver, mejoran los resultados entre un 7 y un 15% aproximadamente y, en consecuencia, mejoran sensiblemente los porcentajes de datos censurados por la derecha que se obtuvieron con una sola inspección.

La estimación de los cuantiles de la distribución permite conocer y comparar la progresión de las lesiones a lo largo del tiempo. Si nos interesamos, por ejemplo, en conocer a qué edad una de cada cuatro fachadas de edificios de vivienda sufrirá una humedad en el revoco de la barandilla de cubierta según la magnitud, debemos fijar una probabilidad de supervivencia del 75% (eje de ordenadas), y en el punto de corte con las distintas curvas de durabilidad, la abscisa

correspondiente nos indicará dicha edad. A modo ilustrativo, en la Figura 8.2, y con los resultados numéricos recogidos en la columna 25% de la tabla de la Figura 8.1, se estima que el 25% de las fachadas habrán sufrido una humedad puntual en el revoco de la barandilla de cubierta cuando alcancen los 17,8 años, mientras que para mostrar la misma lesión pero de magnitud local o general deberán transcurrir 20,6 y 29,7 años, respectivamente.

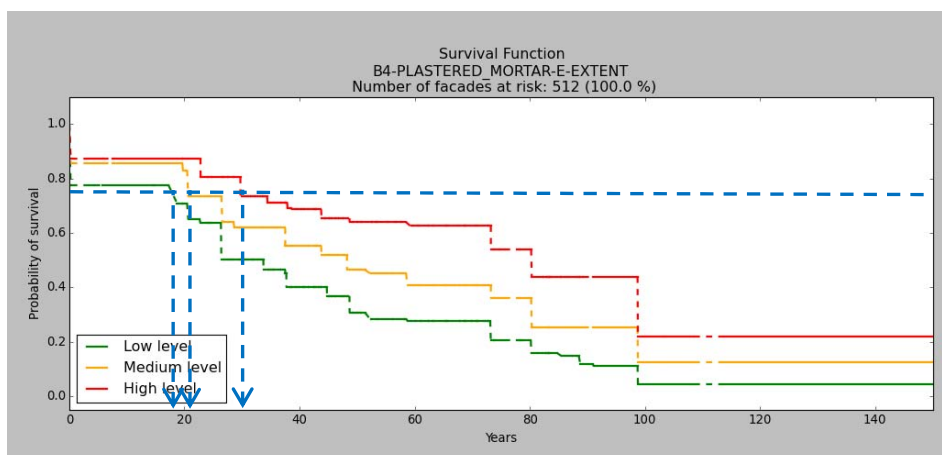


Figura 8.2 Edad estimada de las fachadas para una supervivencia del 75%

De forma alternativa, la Figura 8.3 ilustra como prefijando una edad de interés (eje abscisas) de las fachadas se puede conocer la probabilidad de supervivencia según la magnitud (eje ordenadas). En otros términos, estimar la proporción de unidades que han fallado hasta esa edad. Siguiendo con el mismo ejemplo ilustrativo, y operando en sentido inverso a la Figura 8.2, si nos interesamos por la supervivencia cuando las fachadas alcanzan los 50 años de edad, observamos que el 69,3% de la población en estudio habrá sufrido una humedad puntual en el revoco de la barandilla de cubierta, el 53,4% una humedad local y el 36,0% una humedad general. Los resultados numéricos se recogen en la columna 50.0 de la tabla de la Figura 8.1.

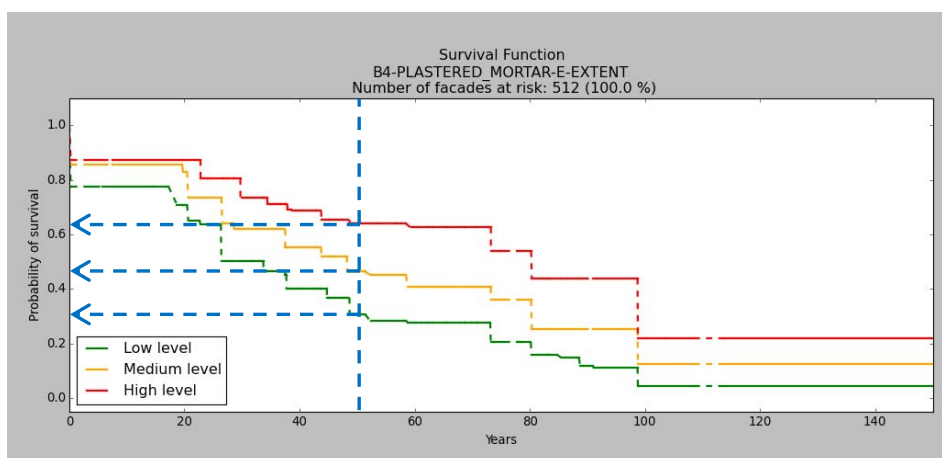


Figura 8.3 Estimación de la proporción de fachadas que no han sufrido la lesión a los 50 años

Otra de las posibilidades que permite el submódulo de FAD, como se ha dicho en el Capítulo 6, es la estimación y la representación de la función de riesgo acumulada de la muestra de interés, acompañada de una tabla numérica de resultados. La función de riesgo a un cierto tiempo mide la propensión al fallo en ese momento dado que el individuo sigue en riesgo (i.e. todavía no ha fallado). La función de riesgo acumulado recoge el efecto de esta propensión a lo largo del tiempo. De este modo, la Figura 8.4 ilustra las funciones de riesgo acumulado para las tres magnitudes del evento de interés que nos preocupa.

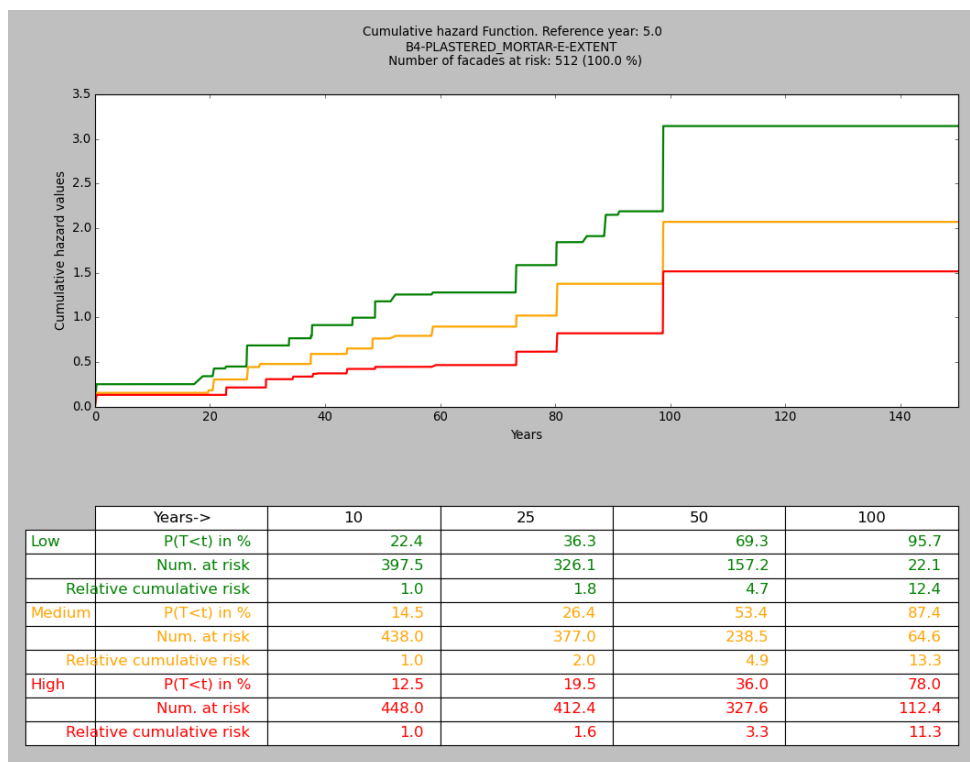


Figura 8.4 Funciones de riesgo acumulado y tabla de resultados para la lesión humedades en revocos en las barandillas de cubierta de viviendas según la magnitud

La Figura 8.4 indica, por ejemplo y tomando como referencia el riesgo acumulado a los 5 años y la magnitud puntual, que una fachada cuando alcanza los 10 años de edad tiene una propensión acumulada al fallo de magnitud puntual igual a la que tenía a sus 5 años. Estudiando la función de riesgo acumulado a los 25 años para la misma magnitud, vemos que es el 80% más elevada que la función de riesgo a los 5 años, mientras que a los 50 años es aproximadamente 5 veces superior. De manera similar este tipo de interpretación se puede realizar para las magnitudes local y general.

De manera equivalente, el submódulo de supervivencia del módulo *Analysis* de FAD 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.



## 8.2. Modelización no paramétrica del tiempo hasta la lesión

En esta Sección se aplicarán técnicas de modelización no paramétrica de los datos, a partir de las variables que se creen que pueden ser explicativas de la evolución de la degradación de las fachadas. Para validar si una variable interviene significativamente en la aparición de la lesión de interés compararemos las funciones de durabilidad de las categorías (grupos) en cada variable aplicando los constrates de hipótesis no paramétricos propuestos en el Capítulo 5.

### Criterio de decisión estadística

Para determinar que  $k$  curvas de durabilidad son diferentes, realizaremos pruebas de hipótesis de igualdad de distribuciones, donde la hipótesis nula ( $H_0$ ) es la que asume que no hay diferencias entre las  $k$  funciones de supervivencia a comparar y la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) la que indica que alguna distribución es distinta. Para la toma de decisiones fijamos el nivel de confianza del 95%. Así pues, rechazaremos la hipótesis nula cuando el  $p$ -valor del estadístico de contraste, sea estrictamente inferior a 0,05. En este caso, los datos aportarán diferencias suficientes para afirmar que las curvas de supervivencia son diferentes a nivel poblacional.

Además, cuando el test de igualdad realizado dé evidencias significativas que las distribuciones son diferentes, realizaremos también un test de tendencia entre dos categorías, pudiendo determinar si existe un orden ascendente o descendente entre las categorías o grupos. Al  $p$ -valor unilateral resultante del test de tendencia lo denotaremos  $p_i$  en el caso ascendente ( *increasing* ) y  $p_d$  en el caso descendente ( *decreasing* ).

### Lesión de interés

La evolución de la degradación que queremos modelizar, siguiendo con el ejemplo ilustrativo, es la referente a las humedades puntuales en el revoco de las barandillas de cubierta de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat. A lo largo de esta Sección será la lesión por omisión. En función de esta lesión de interés se han establecido cinco variables, entre todas las posibles, que más relevancia, *a priori*, pueden tener a la hora de explicar la aparición de dicha lesión y, por lo tanto, puedan intervenir como parámetro en el modelo de deterioro de la misma.

### Propuesta de variables explicativas

La Tabla 8.1 recoge las cinco variables de interés que se cree que pueden explicar significativamente la aparición de las humedades puntuales en los revocos de las barandillas de cubierta en fachadas de edificios de viviendas. Cada variable tiene una identificación útil para el transcurso de esta Sección. Para cada variable se muestran las categorías y tamaños muestrales respectivos en que se subdividen las 512 fachadas objeto de estudio.

Variable	ID	Categorías	Grupo	n
Morfología	V <sub>1</sub>	Plana	A	218
		Plana con Balcón	B	193
		Plana con Tribuna	C	37
		Plana con Balcón y Tribuna	D	64
Período Constructivo	V <sub>2</sub>	≤ 1959	A	277
		1960 - 1979	B	217
		≥ 1980	C	18
Material	V <sub>3</sub>	Mortero	A	435
		No Mortero	B	77
Distrito/Barrio	V <sub>4</sub>	Distrito I – Centre	A	94
		Distrito II – Collblanc	B	311
		Distrito III – Santa Eulàlia	C	107
Orientación	V <sub>5</sub>	Impacto Bajo (NO-N, N-NE)	A	98
		Impacto Medio (NE-E, E-SE, SO-O, O-NO)	B	303
		Impacto Alto (SE-S, S-SO)	C	111

*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*

La primera variable propuesta para explicar la aparición de la lesión de interés es la morfología. Esta variable se ha categorizado en cuatro categorías diferentes: Las fachadas exclusivamente planas (grupo A), y las que compuestas por una zona plana también tienen sólo balcón (grupo B), sólo tribuna (grupo C) y las formadas por balcón y tribuna (grupo D). La segunda variable que se cree que pueda tener una importancia es el período en el que ha sido construido el edificio. Por ello, se ha categorizado la variable en 3 grupos: Las fachadas construidas hasta el 1959 (grupo A), las construidas entre los años 1960 y 1979 (grupo B), y las construidas a partir del 1980 (grupo C). La tercera variable que se ha creído relevante ha sido el material del revoco en sí, diferenciando entre si es mortero (grupo A) o no (grupo B), tales como el estucado, monocapa u otros. También se cree, que según el Distrito (o Barrio) en el que esté situado el edificio, puede influir en padecer humedades. En este caso, las categorías de esta variable han sido ordenadas en función del Distrito, siendo el grupo A el Distrito I (Barrio del Centre), el grupo B el Distrito II (Barrio de Collblanc) y el grupo C el Distrito III (Barrio Santa Eulàlia). Finalmente, la última variable que podría explicar la aparición de la lesión tiene carácter territorial, categorizando la variable en función del grado de impacto solar (u orientación solar) que tenga la fachada, siendo las de grado de impacto bajo las pertenecientes al grupo A, las de impacto medio las del grupo B y las de impacto alto las del grupo C.

Cabe destacar que otras variables de interés que se pensaron incorporar con posibilidad de explicar la aparición de las humedades, fueron las propiamente territoriales, de las que se ha hecho incapie en esta Tesis Doctoral, tales como el grado de impacto en cuanto contaminación, lluvia, viento y sol. Sin embargo, la falta de equilibrio en el tamaño muestral de cada categoría no permite, o desaconseja, introducir estas variables como predictoras en el modelo estadístico.

La Tabla 8.2 recoge el número (y porcentaje) de fachadas para cada variable y nivel de gravedad de impacto. Como se puede observar, el 93,9% de la muestra seleccionada formaba parte del grupo de grado de impacto bajo para todas las variables, excepto para el viento donde, como se explicó en el Capítulo 3, la relación es inversa.

Impacto Medioambiental	Grado de impacto		
	1	2	3
Contaminación	481 (93,9)	5 (1,0)	26 (5,1)
Lluvia	481 (93,9)	5 (1,0)	26 (5,1)
Viento	26 (5,1)	5 (1,0)	481 (93,9)
Sol	481 (93,9)	5 (1,0)	26 (5,1)

*Tabla 8.2 Distribución del número (y porcentaje) de fachadas para las variables medioambientales según el nivel de impacto*

### Algoritmo de modelización

Una vez definidas las variables de interés que se creen explicativas e influyentes para la aparición de humedades en los revocos de la barandilla de cubierta de los edificios destinados a vivienda, se procede a realizar las pruebas de hipótesis, o tests de igualdad, y los tests de tendencia de las funciones de supervivencia.

Fijando un nivel de confianza del 95%, cuando se obtenga un *p-valor* superior o igual a 0,05 no rechazaremos la hipótesis nula, y por lo tanto, se podrá asegurar que las funciones de supervivencia en estudio siguen una misma distribución, en caso contrario, es decir, con un *p-valor* estrictamente inferior a 0,05, se rechazará la hipótesis nula, es decir, se rechazará la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa que indica que las curvas de durabilidad entre categorías son significativamente diferentes, y por lo tanto es una variable que se debe tener en cuenta para el modelado no paramétrico de la evolución de aparición de lesiones.

El algoritmo genérico para establecer el modelo para el tiempo hasta la lesión, a modo de árbol de clasificación, es el siguiente:

- Paso 1. Realizar el test de igualdad de supervivencia para cada una de las variables candidatas a explicar la lesión de interés. Aquella que obtenga un *p-valor* menor de entre todas

las que obtengan un  $p$ -valor inferior a 0,05, será la variable seleccionada para estar en el modelo.

Paso 2. Ramificar la variable seleccionada en tantas categorías como ésta tenga. Estudiar los tamaños muestrales de los grupos resultantes y validar una posible recodificación. Las variables significativas podrán ser recodificadas, que diferenciaremos de la original por un símbolo prima ( $V_k'$ ), creando, por ejemplo, una variable binaria. Este hecho es detectable, previamente a la realización del test de igualdad o de tendencia, mediante un gráfico conjunto de las funciones de supervivencia de todos los grupos.

Paso 3. Para cada una de las ramas resultantes, repetimos sucesivamente los pasos 1 y 2 hasta que el test de igualdad de supervivencia no dé un  $p$ -valor significativo en ninguna de las ramificaciones sucesivas.

La Figura 8.5 ilustra, de manera genérica los pasos a seguir del algoritmo explicado, para poder establecer un modelo no paramétrico de la evolución de la lesión de interés.

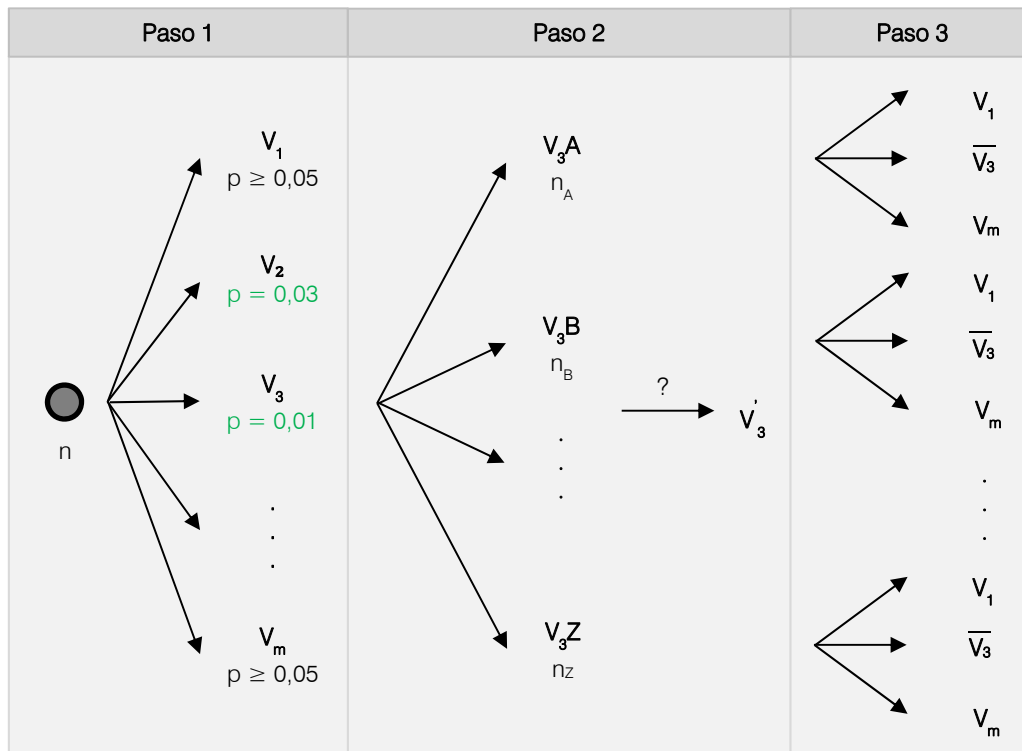


Figura 8.5 Algoritmo genérico para estimar un modelo no paramétrico de la evolución de la lesión de interés

### Detalles técnicos

El submódulo de Test del *plugin* FAD, detallado en el Capítulo 6, permite preparar los archivos de texto de cada variable y categorías para ser exportados al software R, y analizados mediante la función `EMICM()` (Wellner y Zhan, 1997) del paquete `Icens` (Gentleman y Vandal, 2016) que necesita, a la vez, del paquete `survival` (Therneau y Lumley, 2012), y obtener como resultado un objeto de la clase `icsurv`, cuyas componentes permiten representar las funciones de supervivencia de los distintos grupos de la variable de interés.

El gráfico resultante permite detectar visualmente si las distribuciones entre categorías de una misma variable son similares, y por lo tanto, intuir que al realizar el test de igualdad de supervivencia, mediante la función `FHtestics()` (Oller y Langohr, 2015), puede no dar un *p-valor* significativo, es decir,  $p \geq 0,05$ , o por lo contrario, las curvas de durabilidad son visualmente muy diferentes y, por lo tanto, poder intuir que el test de igualdad de supervivencia será significativo,  $p < 0,05$ .

A modo ilustrativo, la Figura 8.6 representa las funciones de supervivencia de la lesión según el período en que fue construido el edificio. Observando el gráfico se puede apuntar que la supervivencia decae a medida que el período constructivo es más reciente, es decir, en aquellos edificios más antiguos, la aparición de humedades puntuales en los revocos de la barandilla de cubierta es más lenta comparada con los más actuales.

### Resultados paso a paso de la modelización

Siguiendo con el ejemplo ilustrativo, cuya lesión de interés son las humedades puntuales en el revoco de la barandilla de cubierta de los edificios de viviendas, con un tamaño muestral ( $n$ ) de 512 fachadas y las cinco variables de interés establecidas en la Tabla 8.1, para determinar cual de ellas es la más significativa para explicar la aparición de dicha lesión, realizamos el test de igualdades para cada una de ellas.

La Figura 8.7 es el resultado de las pruebas de hipótesis de igualdad de las variables de interés por si solas, en un primer nivel. Como se puede observar, las dos variables que más explican la aparición de las humedades puntuales en los revocos de la barandilla de cubierta de los edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat, con un nivel de confianza del 95%, son la morfología ( $V_1$ ) y el período constructivo ( $V_2$ ), siendo esta última la que tiene un *p-valor* menor, y por lo tanto, la que se establece como variable principal para describir el modelo no paramétrico.

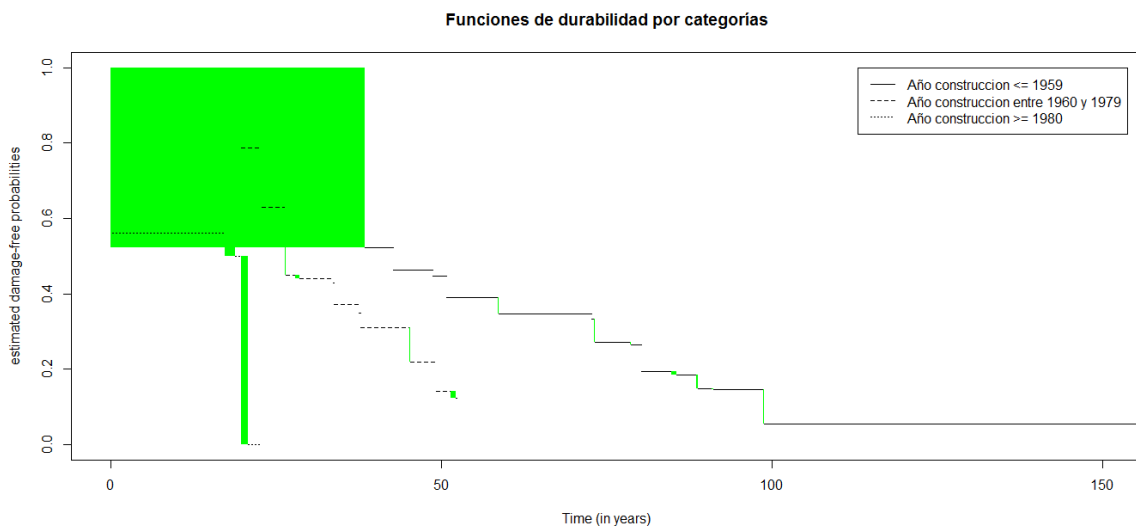


Figura 8.6 Función de supervivencia de las humedades puntuales en los revocos de la barandilla de cubierta de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat estratificada según el período constructivo

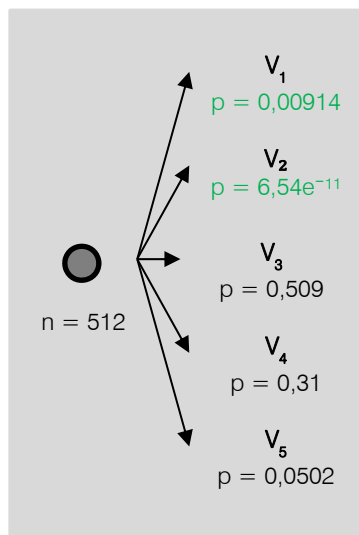


Figura 8.7 Resultados de la prueba de hipótesis de igualdad para las variables de interés ( paso 1 )

Ramificando la variable establecida ( $V_2$ ) en tantos grupos como ésta disponga, se obtiene la Figura 8.8. Las 512 fachadas de la muestra, ahora están repartidas en tres grupos, siendo el período posterior al 1980 el que recibe menos frecuencia.

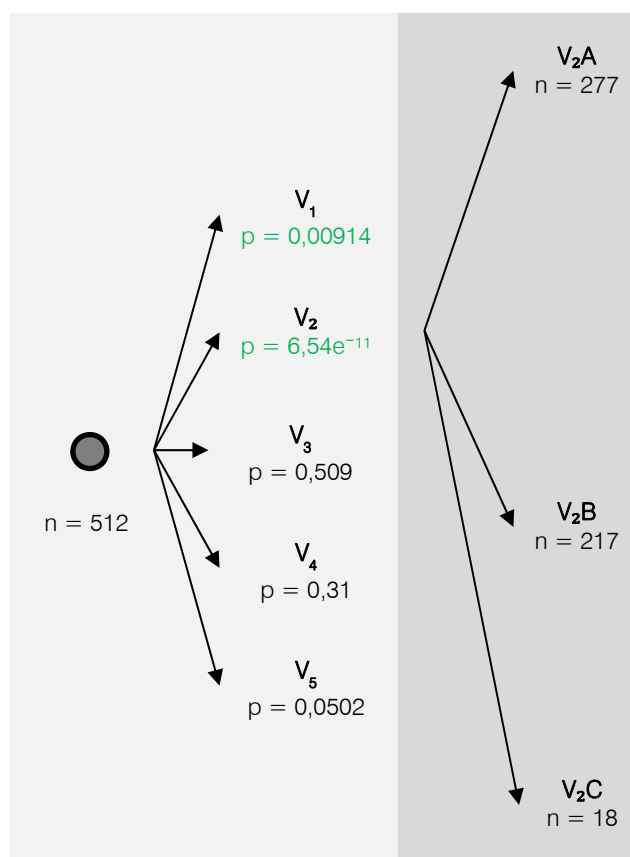


Figura 8.8 Ramificación de la variable más significativa del test de igualdad (paso 2)

Dada la gran diferencia de tamaño muestral del periodo constructivo a partir de 1980 respecto los otros dos grupos, y sabiendo que a medida que aumenten las ramificaciones, el tamaño muestral irá disminuyendo, se ha decidido no tener en cuenta para el estudio este grupo. Por otra parte, de acuerdo con el paso 2 del algoritmo, procedemos a estudiar si existen diferencias significativas entre las categorías A y B, obteniendo un  $p\text{-valor} = 2,2e^{-7}$  para el test de igualdad. Esto nos permite establecer estos dos nodos como siguientes puntos para la ramificación.

Retomando el paso 1, la siguiente variable explicativa, dentro del grupo del periodo constructivo anterior al 1960, es la morfología, con un  $p\text{-valor} = 0,00434$ , es decir, podemos asegurar que la morfología de la fachada introduce diferencias significativas en las curvas de durabilidad de las humedades puntuales en los revocos de las fachadas de edificios de vivienda construidos antes del 1960. Para el caso de las viviendas construidas en el periodo 1960 – 1979, no se observa significación en ninguna de las otras variables consideradas. Estos resultados son visibles en la Figura 8.9.

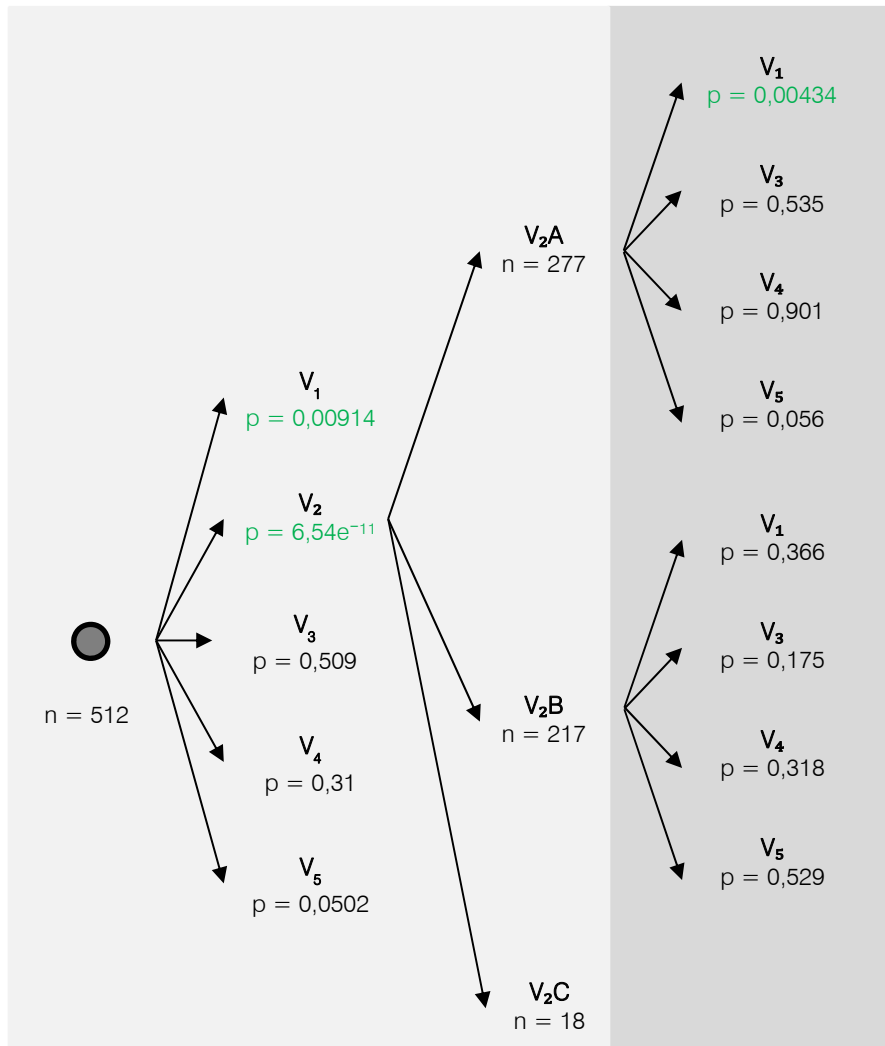


Figura 8.9 Ramificaciones activas para establecer el modelo no paramétrico de la aparición de la lesión de interés

Al representar las funciones de supervivencia de las humedades en el revoco de las fachadas de edificios de viviendas construidas antes del 1960 por morfología (Figura 8.10), es cuando nos interesamos por el tamaño muestral de las distintas categorías de la variable (Figura 8.11), observando que el número de fachadas formadas exclusivamente con tribunas (grupo C) y las compuestas por balcones y tribunas (grupo D) es muy pequeño, 14 y 12 respectivamente, comparado con el tamaño muestral de los grupos de fachadas exclusivamente planas (grupo A) y las fachadas con sólo balcón (grupo B). Por ello, se ha establecido recodificar la variable de morfología, de ahora en adelante  $V_i'$ , en dos categorías (grupo A: fachadas exclusivamente planas y grupo B: fachadas no planas), obteniendo un  $p$ -valor en el test de igualdad de supervivencia de 0,00595, y al realizar el test de tendencia se obtiene un  $p$ -valor  $p_i = 0,00297$ , que nos valida que la supervivencia de las fachadas no planas (grupo B) es mejor que la de las exclusivamente planas (grupo A).



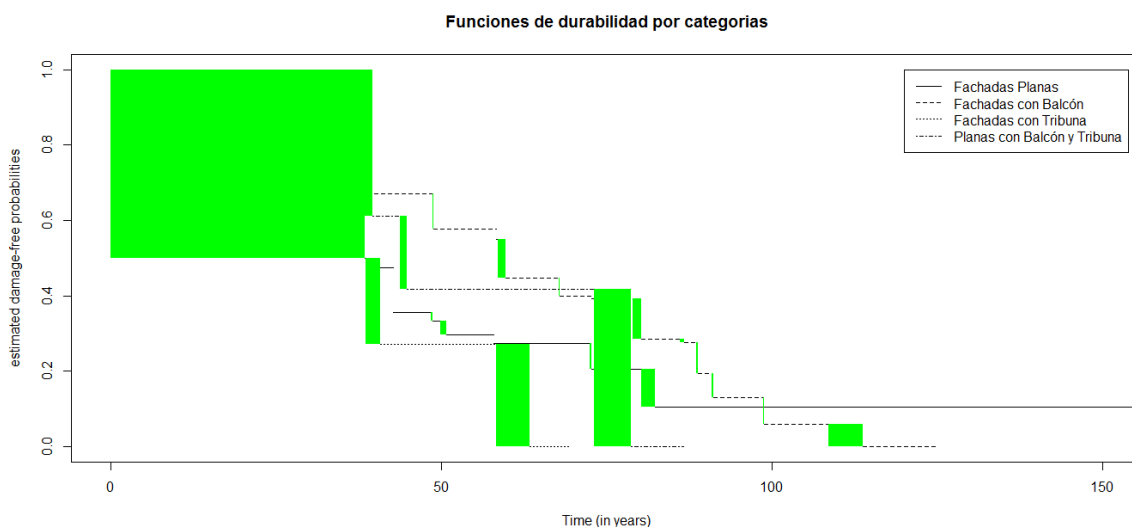


Figura 8.10 Función de supervivencia de las humedades puntuales en el revoco de las barandillas de cubierta de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat construidos antes del 1960 por morfología

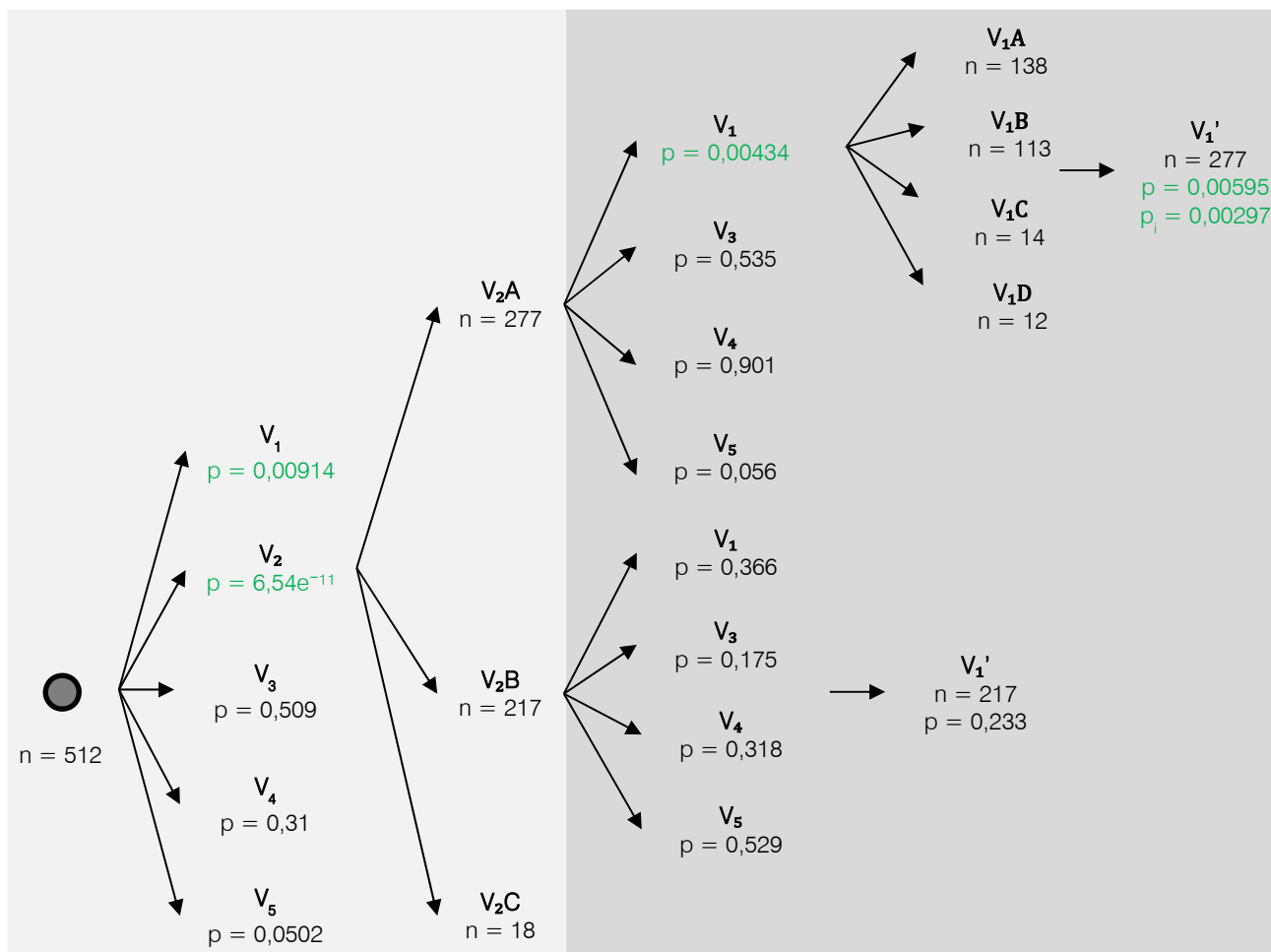


Figura 8.11 Distribución de la frecuencia por categorías de la variable morfología para las fachadas construidas antes del 1960 y p-valores de la recodificación de la variable

El hecho de recodificar la variable morfología ha hecho que nos replanteásemos si la morfología, que resultó no ser explicativa para las fachadas construidas entre los años 1960 y 1979, podría serlo con esta nueva codificación. El resultado fue negativo.

Hasta este punto, la única ramificación que sigue activa es la correspondiente a las humedades en los revocos de las fachadas de edificios de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat construidos anteriormente al año 1960 en función de la nueva recodificación de la morfología ( $V_1'$ ).

Siguiendo con el algoritmo del modelo no paramétrico, como muestra la Figura 8.12, se analizan las variables restantes, resultando ser el Distrito/Barrio ( $V_4$ ), con un  $p$ -valor = 0,0258, la tercera variable que explica el tiempo hasta la lesión en fachadas no planas de edificios construidos antes del 1960.

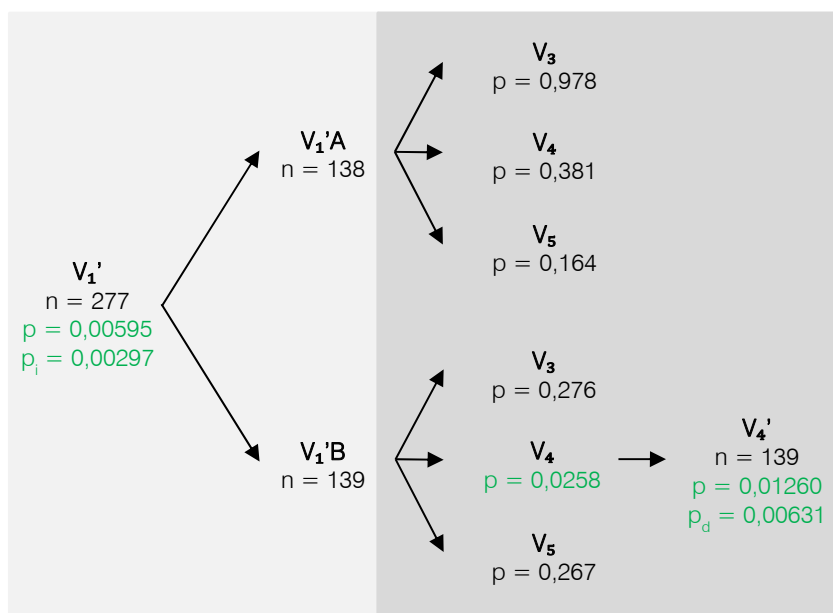


Figura 8.12 Ramificaciones activas para el modelo de aparición de la lesión de interés para las fachadas construidas antes del 1960 en función de la morfología

Operando del mismo modo que en el caso de la morfología, se compararon dos a dos las funciones de supervivencia las categorías de la variable  $V_4$ , resultando una recodificación significativa, con un  $p$ -valor = 0,01260, de la variable, de ahora en adelante  $V_4'$ . Las nuevas categorías establecidas se basan en pertenecer al barrio Centre (grupo A) o no (grupo B).

Ramificando la nueva codificación de la variable que define el Distrito/Barrio y comparando las funciones de supervivencia de las dos variables restantes ( $V_3$  = Material del recovo y  $V_5$  = Impacto solar) para cada grupo, resulta que ninguna de ellas es significativa, concluyendo que ni el material utilizado para el revoco ni el impacto solar debido a la orientación explican la aparición de humedades en la barandilla de cubierta. La Figura 8.13 ilustra como queda ramificado el

modelo estadístico que describe el tiempo hasta la aparición de humedades en fachadas no planas de edificios de viviendas construidos antes del 1960.

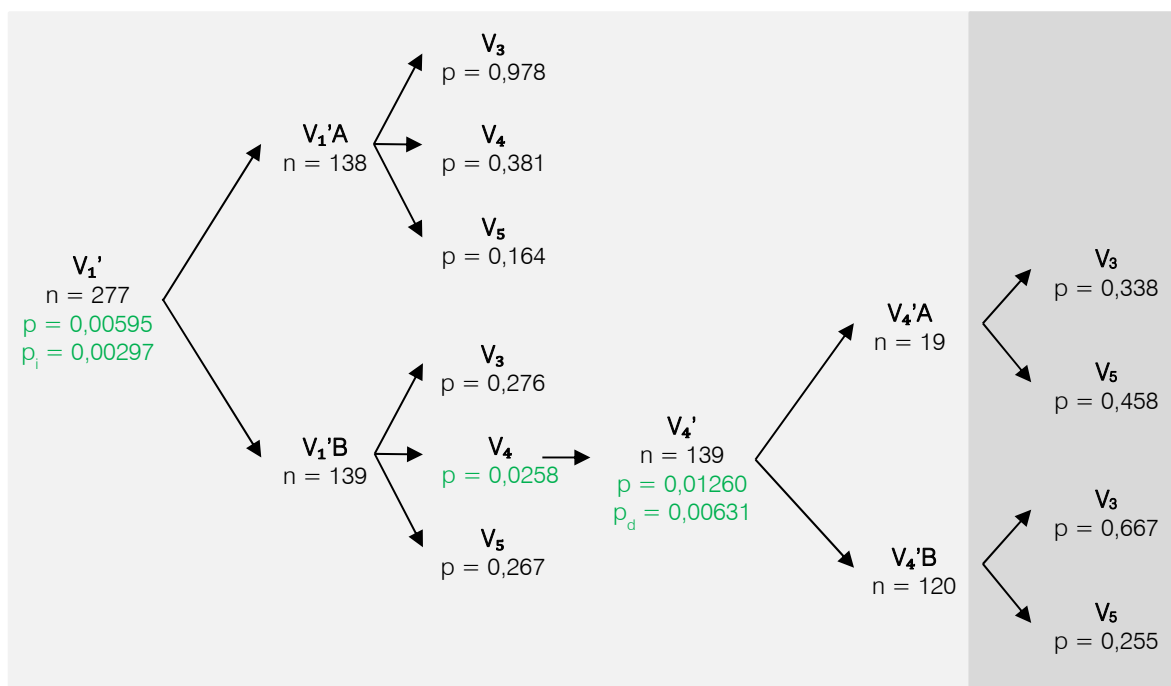


Figura 8.13 Ramificación final para el modelo de la lesión de interés de las fachadas no planas construidas antes del 1960.

**Modelo no paramétrico resultante**

Aplicado el algoritmo de modelización, podemos concluir que el modelo que permite identificar diferentes patrones de comportamiento 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 es el siguiente:

$$T \sim V_2 + V'_1 + V'_4$$

donde,

- $V_2$  es el período constructivo categorizado en dos grupos; los edificios construidos antes del 1960 y los construidos a partir de 1960.
- $V'_1$  es la morfología de la fachada, en función de si es plana o no.
- $V'_4$  es la variable que recoge si la fachada pertenece al Distrito I (o Barrio Centre) o no.

De acuerdo al modelo validado, y como ilustra el árbol de clasificación de la Figura 8.14, se pueden identificar los siguientes cuatro grupos de población fachadas:

- $G_1$ , construidas a partir del 1960.
- $G_2$ , construidas antes del 1960, no planas y no situadas en el barrio Centre.
- $G_3$ , construidas antes del 1960, no planas y situadas en el barrio Centre.
- $G_4$ , construidas antes del 1960 y planas.

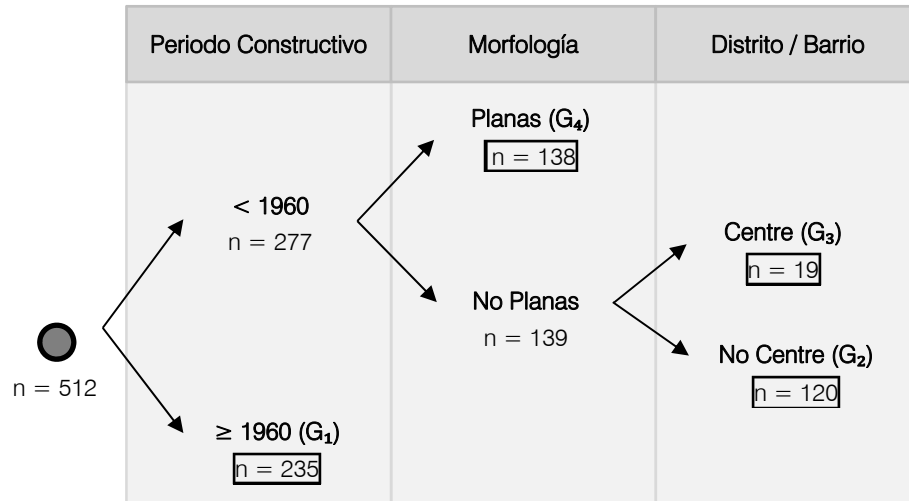


Figura 8.14 Árbol de clasificación del tiempo hasta la aparición de humedades puntuales en los revocos de la barandilla de cubierta de las fachadas de viviendas de L'Hospitalet de Llobregat

Por su parte, la Figura 8.15 es el resultado de graficar las funciones de supervivencia de los cuatro grupos,  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  y  $G_4$ , que ha permitido identificar el modelo no paramétrico estimado.

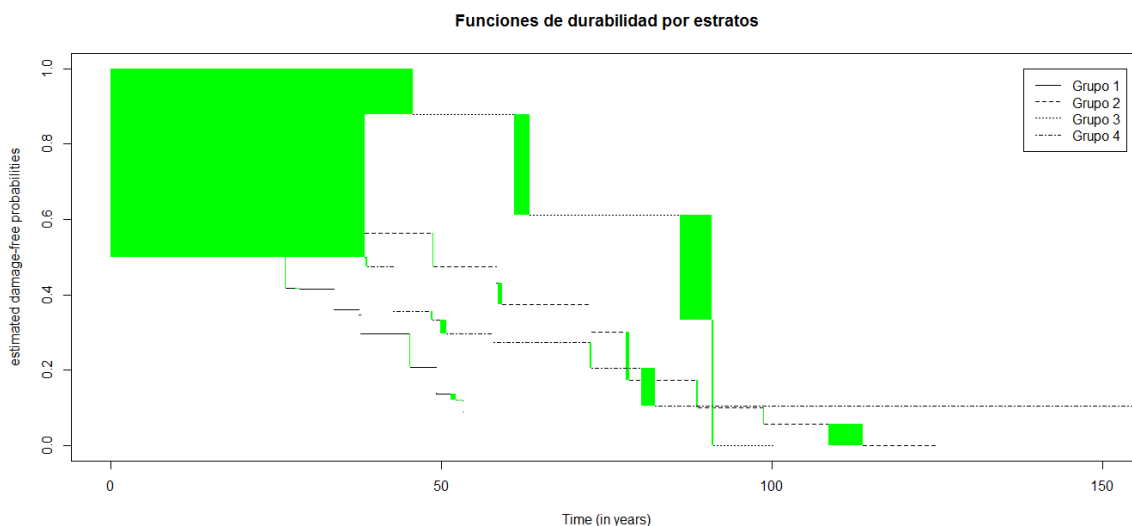


Figura 8.15 Función de supervivencia estratificada por grupos de población de fachadas

De manera adicional se ha planteado el test de igualdad de las funciones de supervivencia entre los 4 grupos y se ha obtenido un  $p$ -valor =  $8,88e^{-9}$ , lo que indica una muy significativa evidencia en contra de la igualdad de distribuciones.

Más en particular, se ha planteado el test de tendencia dos a dos de las funciones de supervivencia, siguiendo el orden que sugiere el gráfico de la Figura 8.15, es decir,  $S_{G3} > S_{G2} > S_{G4} > S_{G1}$ . Para los respectivos contrastes se ha obtenido los  $p$ -valores  $p_i = 0,00631$ ,  $p_d = 0,03020$  y  $p_i = 0,00090$  que validan el orden propuesto.

Es interesante resaltar la mejora introducida en la estimación predictiva a partir del modelo propuesto respecto de la estimación marginal de la Sección 8.1. Por ejemplo, la estimación de la mediana de los tiempos hasta la lesión es de 34 años aproximadamente en el modelo marginal (Figura 8.1), mientras que, conocido el modelo, esta mediana se estima en unos 26, 38, 49 y 91 años, para las fachadas de los grupos  $G_1$ ,  $G_4$ ,  $G_2$  y  $G_3$ , respectivamente. Esta simple ilustración pone en evidencia el gran potencial de ayuda de la metodología de análisis propuesta en esta Tesis Doctoral, en la toma de decisiones e intervenciones sobre el parque edificado.

### Conclusiones generales del caso de estudio

Como se ha visto a lo largo de la ilustración presentada en el Capítulo 7 y el Capítulo 8, la aplicación de la metodología propuesta en esta Tesis Doctoral nos ha permitido concluir, a partir de las inspecciones realizadas en el período 1997-2015, sobre la población de fachadas de L'Hospitalet de Llobregat de los barrios Centre, Collblanc y Santa Eulàlia, lo siguiente:

Con carácter general, y a modo descriptivo, sobre el conjunto de la población inspeccionada:

- El perfil de exposición medioambiental al que se encuentra sometida es alto en lo que se refiere a impacto debido al viento y bajo en lo concerniente a impacto debido al sol, la contaminación y la lluvia. En términos medios, y sobre una total de superficie expuesta de aproximadamente 350.000m<sup>2</sup>, dos tercios de la población de fachadas está expuesta a niveles bajos de impacto y el resto, esencialmente, a un nivel alto.
- El barrio Centre concentra el 97,0% de la edificación industrial existente, mientras que el barrio Collblanc representa el 60,1% de la edificación de uso vivienda.
- El desarrollo urbanístico y edificatorio de la ciudad se centra en el período de los años 50 al 80, debido principalmente a movimientos migratorios de la era industrial.
- Se trata de una zona residencial de promoción esencialmente privada.

En lo que se refiere a edificios de viviendas:

- En base al tipo de revestimiento se trata de un frente urbano con revestimiento contínuo y en su gran mayoría de morfología plana o plana con balcón.

- Las principales lesiones que afectan a los edificios de viviendas son, en orden de mayor a menor afectación: Humedades, Degradación de material, Fisuras, Desconchado, Abombamiento, Desprendimiento, Corrosión y Deformación.
- Las partes de la fachada que presentan mayor índice de gravedad de lesiones son, en orden de mayor a menor afectación: Barandilla de cubierta, Balcones, Tribunas y Cuerpo principal.
- La lesión que mayor progresión (deterioro) ha presentado durante el período entre inspecciones es la Humedad.
- Las partes de las fachadas que mayor progresión (deterioro) han presentado durante el período entre inspecciones son la Barandilla de cubierta y los Balcones.
- Por su nivel de afectación y progresión sobre la población, resulta de interés estudiar el tiempo hasta la aparición de la lesión humedades en los revocos de la barandilla de cubierta, en los distintos niveles de magnitud puntual, local y general.
- El 25% de las fachadas habrán sufrido una lesión de humedad puntual en el revoco de la barandilla de cubierta a sus 18 años, mientras que la sufrirán en magnitud local o general a sus 20 y 30 años, respectivamente.
- Las variables que determinan el tiempo hasta la aparición de una humedad puntual en el revoco de la barandilla de cubierta son, y en este orden: El período constructivo del edificio (antes de 1960 y a partir de 1960), la morfología de la fachada (estrictamente plana o con elementos salientes) y su ubicación en la ciudad (barrio Centre o no). Estas variables en el modelo permiten identificar cuatro grupos de población:
  - $G_1$ , construidas a partir del 1960.
  - $G_2$ , construidas antes del 1960, no planas y no situadas en el barrio Centre.
  - $G_3$ , construidas antes del 1960, no planas y situadas en el barrio Centre.
  - $G_4$ , construidas antes del 1960 y planas.

Y con el siguiente orden entre sus funciones de durabilidad:  $S_{G3} > S_{G2} > S_{G4} > S_{G1}$ .

De manera análoga a lo desarrollado en este Capítulo 8 de la Tesis Doctoral, es posible confeccionar un catálogo de afectación, evolución e identificación de las variables morfológicas, y medioambientales que intervienen en el proceso de deterioro, para cada una de las lesiones que el investigador o técnico considere de interés según su ubicación, elemento, magnitud y gravedad.

## Capítulo 9

# CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En este Capítulo se exponen las conclusiones que se derivan del estudio realizado en esta Tesis Doctoral, presentadas, por un lado, desde la vertiente metodológica y, por otro, las derivadas de aplicar dicha metodología a un caso práctico. Las conclusiones de carácter metodológico responden al cumplimiento de los objetivos establecidos al inicio de este trabajo en el área del Laboratorio Urbano y en el área de la Metodología Preventiva, mientras que las conclusiones prácticas obedecen a aspectos específicos del área de aplicación sobre un parque edificado en particular. Finalmente, se presentan las propuestas de mejora y líneas futuras de investigación derivadas del presente trabajo.

### 9.1. Conclusiones

#### 9.1.1. Conclusiones referentes a la metodología

El objetivo principal alcanzado en esta Tesis Doctoral ha sido la elaboración e implementación de un sistema que permite la predicción de la vida útil a nivel multiescala sobre un parque edificado existente, en base a la estimación de un modelo de evolución de la degradación de las fachadas del mismo. Esta contribución es una propuesta macroescalar alternativa a la idea de estudiar el estado de una fachada en concreto, así como las causas que han generado su deterioro.

### En cuanto al Laboratorio Urbano

El término multiescala presenta la necesidad de establecer unos factores que representen el frente urbano de interés. La revisión bibliográfica nos ha permitido establecer dichos factores que nos inducen a pensar en una influencia significativa de parámetros territoriales y medioambientales, tales como la orientación o la contaminación, viento, precipitación o la radiación solar, catalogando los cuatro últimos en función del grado de impacto sobre las fachadas (alto, medio, bajo), establecido a partir de las proporciones existentes entre el ancho de la vía y la altura de los edificios. Si bien la tipología del cañón urbano ha sido introducida en la metodología que se ha desarrollado y ha sido considerada en el caso de estudio, la uniformidad de los valores en la población no ha permitido validar su intervención significativa en el proceso de aparición de lesiones.

Análogamente, cualquier frente urbano se puede describir por los elementos constructivos y morfológicos que forman sus fachadas. En esta línea, se han definido mediante planos conceptuales las zonas de uso y las que contienen los elementos arquitectónicos más representativos en cualquier tipo de fachada.

Otra de las condicionantes consistió en clasificar los tipos de lesiones existentes de carácter general y en concreto a nuestro modelo de estudio para incorporarlo como un requisito dentro del Laboratorio Urbano y poder estimar la evolución de la lesión. Al mismo tiempo, se han establecido unas magnitudes y gravedades, para catalogar el nivel de afectación de la lesión sobre la fachada o el nivel de reducción de sus prestaciones de diseño.

Con todo ello hemos dado respuesta a los objetivos de la investigación referentes al Laboratorio Urbano, de determinar qué factores territoriales de vulnerabilidad y de clasificación de las fachadas, con sus elementos principales, son necesarios para ser estudiados bajo inspecciones multiescala aplicables a cualquier frente urbano. Concretamente, para nuestra lesión de interés en el caso de estudio, los factores que determinan la durabilidad de las fachadas han sido, y en este orden: su período de construcción, su morfología y su ubicación en la ciudad.

### En cuanto a la Metodología de Inspección

En la actualidad el Sistema de Predicción Multiescala de la degradación del Frente Urbano Edificado SPM/D/FUE, se nutre de inspecciones de fachadas realizadas *in situ* y, por consiguiente, se ha precisado crear una herramienta (ficha de campo) que permite la recogida de la información ajustada y precisa sobre las fachadas a inspeccionar. En este sentido, la ficha de inspección de fachadas que se propone cumple y se ajusta a los requerimientos de una muestra que por naturaleza es heterogénea y la hace válida para cualquier entorno urbano a estudiar. Tanto las características como los pesos de significación y grado de cumplimiento de la ficha han sido elaborados en base a la opinión de expertos y análisis comparativos con otras fichas existentes. Los campos principales se recogen en dos fichas: La primera de ellas contempla



información relativa a características del edificio en cuanto su configuración arquitectónica, fecha de construcción y situación como principales; la segunda de las fichas estructura el elemento fachadas, su morfología, partes más representativas, materiales y su estado en base a unas lesiones predeterminadas en las que se define su gravedad y magnitud frente al riesgo.

Con todo, la incorporación de sistemas digitales más compactos permitiría realizar volcados directos de los datos, a la plataforma de QGIS, sin necesidad de ser introducidos a mano evitando errores de transcripción. También hemos hallado pequeñas inconsistencias debidas a la falta de formación en los inspectores, en el reconocimiento de algunas lesiones o tipo de material junto a la gravedad que representa, que han sido producto de no disponer de una guía de elementos básicos de interpretación. En este punto la Tesis Doctoral ha creado un catálogo de lesiones para incorporarlo en las futuras formaciones de los inspectores.

### **En cuanto a la Metodología de Análisis**

Otra de las aportaciones a destacar consiste en la incorporación en el estudio predictivo de frentes urbanos de técnicas de análisis estadísticas no paramétricas de supervivencia. Más concretamente, se ha introducido el estimador de Turnbull. Este hecho abre un nuevo enfoque de investigación distinto a los modelos paramétricos más extendidos en los estudios de fiabilidad, que no permiten el uso de datos censurados en un intervalo.

En particular, se ha utilizado una extensión de la familia de pruebas de hipótesis no paramétricos de Fleming y Harrington para los tests de igualdad y de tendencia entre grupos de fachadas, lo que ha permitido proponer un modelo para el tiempo hasta la lesión.

### **En cuanto a la Metodología de Gestión**

Para el sistema predictivo diseñado ha sido un gran avance la incorporación de sistemas de información geográfica que permite visualizar las distintas consultas realizadas, en el plano de la ciudad, sobre la muestra de estudio. En un principio el sistema SIG escogido fue ArcGIS pero debido a estar sujeto a licencias y por ese motivo no alineado al concepto de Colaboratorio ha sido reemplazado por QGIS. Desde el entorno QGIS, en programación abierta, vía Python, se ha desarrollado un módulo de consultas y obtención de resultados entre las bases de datos de QGIS más el módulo de análisis en R que dispone e implementa toda la metodología estadística de supervivencia.

El aplicativo estadístico FAD 0.1 ha sido elaborado en colaboración con el Dr. Jacek Rapinski del Instituto de Geodesia de la Facultad de Geodesia e Ingeniería de la University of Warmia and Mazury en Olsztyn (Polonia), el Laboratorio de Edificación y el IEMAE de la EPSEB. FAD 0.1 se presenta como un avance muy significativo de presente y de futuro para el estudio del parque edificado de las fachadas aportando un potencial análisis de la información difícil de alcanzar con los medios actuales. La herramienta se ha limitado en estos momentos tan sólo para dar respuesta a los objetivos de esta Tesis Doctoral, sin embargo su desarrollo potencial nos deja

vislumbrar un aplicativo de múltiples posibilidades de estudio y de correlaciones entre las variables recogidas y los modelos resultantes.

Estos logros, junto a sus posibles mejoras descritas en los párrafos anteriores, dan cumplimiento a los objetivos del área de la metodología predictiva en cuanto al tipo de inspección, a la introducción de técnicas de análisis de supervivencia para el estudio de frentes urbanos y finalmente establecer una propuesta de herramienta de gestión en el entorno SIG.

### 9.1.2. Conclusiones referentes a la aplicación

Desarrollada toda la metodología del sistema predictivo multiescala diseñado para determinar el modelo evolutivo de la sintomatología patológica de los frentes urbanos de la ciudad, se ha comprobado su operatividad, a modo de ilustración, sobre un estudio real dentro del núcleo urbano de la ciudad de L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona).

Durante el trascurso de esta Tesis Doctoral, se han realizado segundas inspecciones en los barrios Centre, Collblanc y Santa Eulalia, con el fin de mejorar la información disponible y establecer la muestra estadística de interés, en total 1308 fachadas, que junto con parte de las primeras inspecciones realizadas antes del año 2001, se han introducido dentro del programa QGIS. El módulo de consultas del plugin FAD 0.1 nos ha permitido realizar consultas de un alto interés para la finalidad propuesta.

Con carácter general sobre el conjunto de la población inspeccionada, de una superficie aproximada de 350.000 m<sup>2</sup>, se puede concluir que a) dos tercios de las fachadas están expuestas a niveles bajos de impacto y el resto, esencialmente, a un nivel alto, b) el barrio Centre concentra el 97,0% de la edificación industrial existente, mientras que el barrio Collblanc representa el 60,1% de la edificación de uso vivienda c) se trata de una zona residencial de promoción esencialmente privada y d) el desarrollo urbanístico y edificatorio de la ciudad se centra en el período de los años 50 al 80, debido principalmente a movimientos migratorios de la era industrial.

De manera específica, en lo que se refiere a edificios de viviendas podemos afirmar:

- En base al tipo de revestimiento se trata de un frente urbano con revestimiento continuo y en su gran mayoría de morfología plana o plana con balcón.
- Las principales lesiones que afectan a los edificios de viviendas son, en orden de mayor a menor afectación: Humedades, Degradación de Material, Fisuras, Desconchado, Abombamiento, Desprendimiento, Corrosión y Deformación.
- Las partes de la fachada que presentan mayor índice de gravedad de lesiones son, en orden de mayor a menor afectación: Barandilla de cubierta, Balcones, Tribunas y Cuerpo principal.

- La lesión que mayor progresión (deterioro) ha presentado durante el período entre inspecciones es la Humedad. Se trata de una zona residencial de promoción esencialmente privada.
- Las partes de las fachadas que mayor progresión (deterioro) han presentado durante el período entre inspecciones son la Barandilla de cubierta y los Balcones.
- Por su nivel de afectación y progresión sobre la población estudia resulta de interés estudiar el tiempo hasta la aparición de la lesión humedades en los revocos de la barandilla de cubierta, en los distintos niveles de magnitud puntual, local y general.
- El 25% de las fachadas habrán sufrido una lesión de humedad puntual en el revoco de la barandilla de cubierta a sus 18 años, mientras que la sufrirán en magnitud local o general a sus 20 y 30 años, respectivamente.
- La población de fachadas puede dividirse en cuatro grupos atendiendo a las características que definen el proceso de deterioro.
  - $G_1$ , construidas a partir del 1960.
  - $G_2$ , construidas antes del 1960, no planas y no situadas en el barrio Centre.
  - $G_3$ , construidas antes del 1960, no planas y situadas en el barrio Centre.
  - $G_4$ , construidas antes del 1960 y planas.

Y con el siguiente orden entre sus funciones de durabilidad:  $S_{G3} > S_{G2} > S_{G4} > S_{G1}$ .

De manera análoga a como se ha desarrollado la aplicación para una lesión en particular y se ha obtenido información específica sobre su evolución en la ciudad, es posible confeccionar un catálogo de afectación, evolución e identificación de las variables morfológicas y medioambientales que intervienen en el proceso de deterioro, para cada una de las lesiones que el investigador o técnico considere de interés según su ubicación, elemento, magnitud y gravedad.

## 9.2. Futuras líneas de investigación

### Investigación futura

Las mejoras que la investigación propone incluyen aquellos aspectos que sin afectar a los resultados alcanzados en el trascurso de la Tesis Doctoral sí incorporarían una mayor operatividad al sistema diseñado.

- Implementar una metodología de inspección mediante herramientas TIC, para posibilitar una mayor rapidez en la toma de datos y permitir inspecciones sucesivas más rápidas y eficaces. Con ello se mejoraría las bases de datos existentes.

- Diseñar una herramienta de transmisión de datos entre los soportes de captura de datos del campo hacia la plataforma de QGIS de manera más automatizada y con menor posibilidad de errores de transmisión de la información actual.
- Crear un protocolo más preciso en temas conceptuales encaminados a la formación de los inspectores que aclare aquellos temas que a lo largo de la investigación han resultado dudosos en su interpretación técnica. Este punto mejoraría la fiabilidad de la inspección y aportaría rapidez en las reinspecciones sucesivas.
- Complementar el modelo QGIS con la incorporación de información dinámica, de mayores prestaciones territoriales, como –por ejemplo- capas automatizadas de niveles de contaminación, pluviometría,... suministradas por instituciones oficiales. Esta información puede ser tratada en conjunción con los impactos generados sobre el espacio urbano. En este sentido, es una evidencia que el potencial de los SIG permite muchas mejoras y es un valor añadido de nuestra propuesta.

### La evolución

El sistema predictivo propuesto se ha mostrado consistente con los objetivos planteados en la investigación sin embargo somos conscientes que se podrían seguir implementando otro tipo de funciones que darían mayores posibilidades de gestión de los frentes urbanos.

- Definir qué variables son significativas en la transición entre los distintos fallos y si existe correlación entre ellos y el tiempo necesario de transición. Ello nos permitiría clasificar una lesión como un síntoma de la aparición de otra y realizar acciones preventivas sobre el evento.
- Implementar rutinas y análisis urbanos para determinar un parámetro que englobe una evaluación global de la degradación de la fachada y tras ello extenderse sobre paramentos que constituyen una fracción del frente urbano entre viales. Este valor global permitiría al gestor urbano identificar y comparar de forma fragmentada situaciones de estado más amplias.
- Establecer factores que apoyen la toma de decisión para la gestión que de forma predictiva oriente las consecuencias o beneficios de adelantar o retrasar decisiones de intervención a lo largo del tiempo. Evidentemente soportados por condicionantes técnicos, de seguridad global, inversiones económicas y, en definitiva, condicionantes de operatividad del frente urbano.

En particular, el nuevo enfoque, en la línea de [Serrat et al. \(2017\)](#) del Anejo G, necesita de acuerdos de colaboración y desarrollo que van más allá de esta Tesis Doctoral y por ello proponemos que se articule una comisión que regule y promueva un protocolo de Normalización a nivel de la UE. Sin un marco de consenso amplio difícilmente se podrá frenar las evidencias de degradación que son constatables en los frentes urbanos.

# Referencias Bibliogràfiques

- Adroer i Puig, A. y Domingo i Grabiell, A. (2004). *Diccionari visual de la construcció*. Barcelona (Spain): Departament de Política Territorial i Obres Públiques (Generalitat de Catalunya). ISBN: 8439365098, 9788439365099
- Agence Nationale pour l'Amelioration de l'Habitat (ANAH). (2010). *Grille d'évaluation de la dégradation de l'habitat. Les guides méthodologiques*. France.
- Andrady, A. L., Hamid, S. H., Hu, X. y Torikai, A. (1998). Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Journal of photochemistry and photobiology B: Biology*, **46**(1-3), 96-103. DOI:10.1016/S1011-1344(98)00188-2
- Arrow, K.J. y Raynaud, H. (1986). *Social Choice and Multicriterion Decision-Making*. Cambridge (United Kingdom): MIT Press Books. ISBN: 0-262-51175-4
- Autoritat del Transport Metropolità. (2008). *Pla Director de Mobilitat de la Regió Metropolitana de Barcelona. Annex II. Avaluació de les emissions*. Barcelona (Spain).
- Baker, G. H. (2000). *Le Corbusier: anàlisi de la forma*. Barcelona (Spain): Gustavo Gili. ISBN:9788425218088
- Baklanov, A. A. y Nuterman, R. B. (2009). Multi-scale atmospheric environment modelling for urban areas. *Advances in Science and Research*, **3**(0), 53-57. DOI:10.5194/asr-3-53-2009
- Beasley, K. J. (2012). Building Facade Failures. *In Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Forensic Engineering*, **165**(1), 13-19. DOI:10.1680/feng.2012.165.1.13
- Beijer, O. (1980). *Weathering on external walls of concrete*. Stockholm (Sweden): Swedish Concrete Research Council, Swedish Cement and Concrete Research Institute. ISSN: 0346-8240
- Bellmunt, R., Paricio, A. y Vilà, A. (2000). *Reconocimiento, diagnosis e intervenció en fachadas*. Barcelona (Spain): Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. ISBN: 8478533974
- Benayoun, R., Roy, B. y Sussmann, B. (1966). ELECTRE: une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. Note de travail 49, SEMA-METRA International, Direction Scientifique.

- Bessey, K. M. (2002). Structure and dynamics in an urban landscape: Toward a multiscale view. *Ecosystems*, **5**(4), 360-375. DOI:10.1007/s10021-001-0080-6
- Bickel, P.J. y Doksum, K.A. (2015). *Mathematical Statistics. Volume I and Volume II*. Boca Raton (USA): CRC Press.
- Bosch Vilaseca, C. (2012). *Determinació de criteris de durabilitat en l'Edificació, basats en la trama urbana de L'Hospitalet de Llobregat*. Trabajo Final de Grado en Ingeniería de la Edificación. Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Boucly F. (1999). *Gestión del mantenimiento*. Madrid (España): Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). ISBN: 8481431605
- Bracken, I. y Webster, C. J. (1989). *Information technology in Geography and planning. Including principles of G.I.S*. London (United Kingdom): Routledge. ISBN: 978-0415032018
- Briceño, M. (1999). *La percepción visual y la identidad formal de los objetos del espacio urbano. Análisis de la parroquia El Llano del municipio Libertador del estado Mérida*. Tesis Doctoral de Maestría en Diseño Urbano. Facultad de Arquitectura y Artes (Universidad de Los Andes), Mérida (Venezuela).
- Briceño, M. y Gil, B. (2005). Ciudad, imagen y percepción. *Revista Geográfica Venezolana*, **46**(1), 11-33. ISSN 1012-1617
- Broto, C. (2005). *Diccionario visual de arquitectura y construcción*. Barcelona (España): S.A. Leading International Key Services Barcelona. ISBN: 8489861889
- Buergel-Goodwin, E., Ferrara, C. y Bradley, P. E. (2005). Survival functions of buildings and building elements. *In X International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Lyon (France).
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of Geographical Information System for Lan resources Assessment*. Oxford (United Kingdom): Oxford University Press. ISBN:0198545924
- Cantone, F., de Medici, S. y Fiore, V. (2004). Durability and degradation of natural stone in Syracusan facades: materials and techniques compatible for recovery interventions. *Design and nature*, **6**, 155-164. ISBN: 1-85312-721-3
- Capelli de Steffens, A. M., Piccolo, M. C. y Campo de Ferreras, A. M. (2005). *El clima urbano de Bahía Blanca*. Buenos Aires (Argentina): Dunken. ISBN: 987-02-1262-X
- Carneiro, C., Morello, E., Voegtle, T. y Golay, F. (2010). Digital Urban Morphometrics: Automatic Extraction and Assessment of Morphological Properties of Buildings. *Transactions in GIS*, **14**(4), 497-531. DOI:10.1111/j.1467-9671.2010.01218.x ISSN: 1361-1682
- Carrasco, C. (2010). *Morfología y microclima urbano análisis de la forma espacial y materiales como modeladores del microclima de tejidos urbanos mediterraneos costeros: el caso de la ciudad de Valparaiso*. Tesis Doctoral en el Departament de Construccions Arquitectòniques I de l'Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Castelló Campos, M. A. (2013). *Implementación de un sistema de información geográfica para el*

- anàlisi de los estimadores de durabilidad que afectan las fachadas de la edificación existente.* Trabajo Final de Grado de Ingeniería Geomàtica i Topografia de l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Castillo Morago, S. y Franco Garós, S. (2014). *Implementación de un sistema de información geográfica para el análisis de la durabilidad de las fachadas de la edificación existente.* Trabajo Final de Carrera de Ingeniería Técnica de Topografía de l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Caterina, G., Castagneto, P., De Joanna, P., Fiore, V. y Scarcia, L. (2001). Methodology for the building estate knowledge: analytic tools for identifying degradation processes. *Advances in architecture series*, **13**, 435-440. DOI:10.2495/STR01042. ISSN: 1743-3509
- Cebrián, J. A. y Mark, D. (1987). Sistemas de Información Geográfica. Funciones y estructuras de datos. *Estudios Geográficos*, **188**, 78-84.
- Chaves, H. (2010). Anàlisi multiescala en el diagnòstic de vacíos de conservació de ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos del SINAP, Panamá. En *III Congreso Mesamericano de áreas protegidas*. Mérida (Yucatán, México).
- Chew, M. y De Silva, N. (2004). Factorial method for performance assessment of building facades. *Journal of Construction Engineering and Management*, **130**(4), 525-533. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(525)
- Code de la construction et de l'habitation (2014). France: Legifrance. Le service public de la diffusion du droit.
- Dabberdt, W. F., Ludwig, F. L. y Johnson, W. B. (1973). Validation and applications of an urban diffusion model for vehicular pollutants. *Atmospheric Environment*, **7**(6), 603-618. DOI:10.1016/0004-6981(73)90019-X
- Davies, N. y Jokiniemi, E. (2008). *Dictionary of architecture and building construction*. Amsterdam (Netherlands): Elsevier/Architectural Press. ISBN: 0750685026, 9780750685023
- Decker, J. (1992). Computers as tools for analysis of urban spaces. Technological support for comprehensive urban design theories. *Special series on urban design*, **9**(3), 170-176. DOI:10.1016/0264-2751(92)90013-U
- Decret 206/1992, d'1 de setembre, pel qual es regula el Llibre de l'Edifici (1992). Catalunya (Spain): Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya.
- Decret 158/1997, de 8 de juliol, pel qual es regula el Llibre de l'Edifici dels habitatges existents i es crea el Programa per a la revisió de l'estat de conservació dels edificis d'habitatges (1997). Catalunya (Spain): Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya.
- Decret 305/2006, de 18 de juliol, pel qual s'aprova el Reglament de la Llei d'urbanisme (2006). Catalunya (España): Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya.
- Decret 187/2010, de 23 de novembre, sobre la inspecció tècnica dels edificis d'habitatges. Catalunya (Spain) : Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya.
- Dempster, A.P., Laird, N.M. y Rubin, D.B. (1977). Maximum Likelihood from Incomplete Data via

- the EM Algorithm. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, **39** (1), 1-38.
- Environmental Systems Research Institute (ESRI). (2014) ArcGIS 10.3 Enterprise Deployment: An Esri Technical Paper. California (USA) <http://www.esri.com/>
- Estéfano, L. (2013). *Incidencia de los agentes medioambientales y contaminantes en la durabilidad de las fachadas urbanas*. Trabajo Final de Grado en Ciencias y Tecnologías de la Edificación en la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Flourentzou, F., Brandt, E. y Wetzel, C. (2000). MEDIC - a method for predicting residual service life and refurbishment investment budgets. *Energy and Buildings*, **31**(2), 167-170. DOI:10.1016/S0378-7788(99)00031-6
- García, A. (1983). *Bases para el diseño solar pasivo*. Madrid (Spain): Consejo Superior de Investigaciones Científicas. ISBN: 8472923207
- Gaspar, P. y de Brito, J. (2003). Service life prediction: identifying independent durability factors. In *International Symposium: Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures*. Kuopio (Finland). 319-324.
- Gaspar, P. y de Brito, J. (2005a). Assessment of the overall degradation level of an element, based on field data. En *X International Conference on Durability of Building Materials & Components*. Lyon (France). 1043-1050.
- Gaspar, P. y de Brito, J. (2005b). Mapping defect sensitivity in external mortar renders. *Construction and Building Materials*, **19**(8), 571-578. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2005.01.014
- Gaspar, P. y de Brito, J. (2008a). Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators. *Building and Environment*, **43**(11), 1818-1828. DOI:10.1016/j.buildenv.2007.10.022
- Gaspar, P. y de Brito, J. (2008b). Service life estimation of cement-rendered facades. *Building research and Information*, **36**(1), 44-55. DOI: 10.1080/09613210701434164
- Generalitat de Catalunya. (2006). *Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015*. Barcelona (Spain): Departament de Treball i Indústria.
- Gentleman, R. y Vandal, A. (2016) lcms: NPMLE for Censored and Truncated Data, R package version 1.44.0.
- Gibert, V. y Royano, V. (2010). *Determinación de estimadores de durabilidad adaptados a la edificación existente*. Máster en Edificación en la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- 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. In *Proceedings of the XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components*. São Paulo (Brasil).
- Gil, J., Montenegro, N., Nuno Beirão, J. y Pinto Duarte, J. (2010). On the discovery of urban typologies.



- In CITTA III Annual Conference on Planning Research: Bringing city form back into planning*. Porto (Portugal).
- Gluch, R., Quattrochi, D. A. y Luvall, J. C. (2006). A multi-scale approach to urban thermal analysis. *Remote Sensing of Environment*, **104**(2), 123-132. DOI:10.1016/j.rse.2006.01.025
- González Firmas, D. (2008). *Proposta d'unes normes tècniques d'urbanització per a l'ajuntament de l'Hospitalet de Llobregat: una aplicació de mobilitat sostenible*. Tesis Doctoral en el Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori de Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Gonzalo, G. E. y Nota, V. M. (2004). *Manual de arquitectura bioclimática*. Tucumán (Argentina): Nobuko. ISBN: 9871135076
- Granados, H. (2006). *Principios y estrategias del diseño bioclimático en la arquitectura y el urbanismo: eficiencia energética*. Madrid (España): Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. ISBN: 84-932711-7-9
- Groeneboom, P., y Wellner, J.A. (1992). *Information Bounds and Nonparametric Maximum Likelihood Estimation*, in DMV Seminar Band 19, Base: Birkhäuser Verlag.
- Heras, M.R. (2008). *Fuentes de energía para el futuro. Capítulo: Aplicaciones de la energía solar en la edificación (Proyecto ARFRISOL)*. Madrid (Spain): Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Área de Educación. Aulas de Verano. ISBN: 8436946758
- Herrera, L. K. (2004). The importance of atmospheric effects on biodeterioration of cultural heritage constructional materials. *International biodeterioration and biodegradation*, **54**(2-3), 125-134. DOI:10.1016/j.ibiod.2004.06.002
- Herzog, T., Krippner, R. y Lang, W. (2004). *Facade construction manual*. Munich (Germany): Birkhäuser. ISBN: 3-7643-7109-9
- Higueras García, E. (2006). *Urbanismo bioclimático*. Barcelona (España): Gustavo Gili. ISBN: 8425220718
- ISO 15686-1:2000. Buildings and constructed assets. Service life planning. Part 1: General principles and framework. (2000). Geneva (Switzerland).
- ISO 14001:2004. Environmental management systems. Requirements with guidance for use. (2004). Geneva (Switzerland).
- ISO/IEC 27001:2005. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements. (2005). Geneva (Switzerland).
- ISO 9001:2008. Quality management systems. Requirements. (2008). Geneva (Switzerland).
- ISO 15686-5:2008. Buildings and constructed assets. Service-life planning. Part 5: Life-cycle costing. (2008). Geneva (Switzerland).
- Jiménez, F. J., Giráldez, J. V., Gutiérrez de la Ravé, E. y Moral, F. J. (2005). Análisis de la dispersión turbulenta de las emisiones del tráfico rodado usando la combinación de modelos de malla - CAD. Universidad de Córdoba y Extremadura (Spain).

- Jordana, F. y Gibert, V. (1999). *Pla pilot de l'estat de les façanes en edificis de l'Eixample*. Barcelona (Spain): ProEixample, S. A. ISBN: 8493064424
- Kaplan, E. y Meier, P. (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, **53**, 457-481.
- Klein, J.P. y Moeschberger, M.L. (1997). *Survival Analysis. Techniques for Censored and Truncated Data*. Springer-Verlag.
- Kleinbaum, D.G. y Klein, M. (2012). *Survival Analysis. A Self-Learning Text*. New York (USA): Springer.
- Kouzes, R. T., Myers, J. D. y Wulf, W. A. (1996). The success of many complex scientific investigations hinges on bringing the capabilities of diverse individuals from multiple institutions together with. *Computer*, **29**(8), 40-46. DOI:10.1109/2.532044
- Kropf, K. (1996). Urban tissue and the character of towns. *Urban design international*, **09/96**(1), 247-263. DOI:10.1057/udi.1996.32
- Lacasse, M. A. (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). 1-13. DOI:irc\_id:19951
- Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre Propiedad Horizontal. (1960). España: Boletín Oficial del Estado (BOE).
- Ley 8/1999, de 6 de abril, de Reforma de la Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre Propiedad Horizontal. (1999). España: Boletín Oficial del Estado (BOE).
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. (1999). España: Boletín Oficial del Estado (BOE).
- Lindsey, J .K. (1997). *Applying Generalized Linear Models*. New York (USA): Springer Science & Business Media.
- Llei 18/2007, de 28 de desembre, del Dret a l'Habitatge. (2007). Catalunya (España): Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC).
- Llei 13/2009, de 22 de juliol, de l'Agència de l'Habitatge de Catalunya. (2009). Catalunya (España): Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya (DOGC).
- López-Moreno, S., Garrido-Latorre, F. y Hernández-Avila, M. (2000). Desarrollo histórico de la epidemiología : su formación como disciplina científica. *Salud pública de México*, **42**(2), 133-143. DOI:http://dx.doi.org/10.1590/S0036-36342000000200009. ISSN: 0036-3634
- Lourenço, P. B., Luso, E. y Almeida, M. G. (2006). Defects and moisture problems in buildings from historical city centres: a case study in Portugal. *Building and Environment*, **41**(2), 223-234. DOI:10.1016/j.buildenv.2005.01.001
- Lynch, K. y Southworth, M. (2005). *Echar a perder: un análisis del deterioro*. Barcelona (Spain): Gustavo Gili. ISBN: 8425220440
- Maguire, D. J., Goodchild, M. F. y Rhind, D. W. (1991). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. London (United Kingdom): Longman House. ISBN: 0-582-05661-6

- Maldonado, P. (2011). Representación grafica de la posición solar y una superficie dada para la ciudad de Cochabamba - Bolivia. *In Proceedings of XVIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*. Lima (Peru). 14-19.
- Martín del Campo, J., Chagollán, F. A., Martín del Campo, I. B., López, I., González, F., Romo, L. A. y Almaguer, R. (2006). Geografía. Zapopan (Mexico): Umbral Editorial S.A. ISBN: 968-5607-38-9
- 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*. Trabajo Final de Carrera de Arquitectura Técnica de l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Mendes da Silva, J., Vicente, R. y Subtil, A. C. N. (2010). Buildings in the old town of Coimbra: knowledge and action to promote their rehabilitation. *Structural Survey*, **28**(1), 28. DOI:10.1108/02630801011040842
- Michel, U. y Bockmühl, T. (2006). GIS and remote sensing for 3D urban modelling by means of VRML technology. *Conference Proceedings of SPIE: the international society for optical engineering*, **6366**, 3660Q. DOI:10.1117/12.689927
- Minitab Inc.(2016). Minitab 17: Introducción a Minitab 17, versión 17.3.0
- Monjo Garrió, J. (1988). Chequeo constructivo de fachadas de Madrid / España. *Informes de la Construcción*, **40**(396), 49-60. ISSN: 0020-0883
- Monjo Garrió, J. (1992). Chequeo constructivo de fachadas de Madrid / España II. *Informes de la Construcción*, **43**(418), 35-52. DOI:10.3989/ic.1992.v43.i418.1353
- Monjo Carrió, J., Abasolo Sánchez, A., Adell Argiles, J.M., del Águila García, A., Azpilicueta Astarloa, E., Bedoya Frutos, C., de las Casas Ayala, J.M., Fernández Cabo, M.C., Fernández Pirla, S., Gámez Guardiola, J.R., Hernández Olivares, F. Neila González, J., Ripollés Díaz, F. y de Villanueva Domínguez, L. (2001). *Tratado de construcción: sistemas*. Madrid (Spain): MUNILLALERIA. ISBN: 8489150451
- Monjo Garrió, J. (2007). Durabilidad vs Vulnerabilidad. *Informes de la Construcción*, **59**(507), 43-58. DOI:10.3989/ic.2007.v59.i507.531
- Monjo i Agut, R. (2008). *El índice n de la precipitación intensa*. Fundación para la Investigación del Clima. Departament de Física de la Terra i Termodinàmica (Universitat de Valencia), Valencia (Spain).
- Moore, M., Phares, B., Graybeal, B., Rolander, D. y Washer, G. (2001). *Reliability of Visual Inspection for Highway Bridges. Volume I: Final report. Report FHWA-RD-01-020FHWA* (vol. II). McLean (Virginia): Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center.
- Moreno, M.C. (1997). Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. *Investigaciones geográficas*, (17), 89-87. DOI:10.14198/INGEO1997.17.08. ISSN: 0213-4691
- Moreno, L. (2013). *Estimació simultània de corbes de durabilitat amb restriccions d'ordre i la seva implementació en AMPL*. Trabajo Final de Grado d'Enginyeria d'Edificació en l'Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).

- Munizaga, G. (1997). *Las ciudades y su historia: una aproximación*. Santiago de Chile (Chile): Universidad Católica de Chile. ISBN: 9789561404687
- Muñoz, R. y Ritter, A. (2005). *Hidrología agroforestal*. Madrid (Spain): Dirección General de Universidades e Investigación del Gobierno de Canarias. ISBN: 84-8476-245-9
- NCGIA. (1990). *Core Curriculum. Tres volúmenes: I. Introduction to GIS. II. Technical issues in GIS. III. Application issues in GIS*. Santa Barbara (California): National Center for Geographic Information and Analysis (University of California).
- Neto, N. y de Brito, J. (2011). Inspection and Defect Diagnosis System for Natural Stone Cladding. *Journal of Materials in Civil Engineering*, **23**(10), 1433-1443. DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000314
- Observatorio ITE. (2010). Informe estadístico anual / 2010. Castilla y León (Spain): Insituto de la Construcción de Castilla y León (ICCL).
- Observatorio ITE. (2012). Informe estadístico anual / 2012. Castilla y León (Spain): Insituto de la Construcción de Castilla y León (ICCL).
- Observatorio ITE. (2014). Informe estadístico anual / 2014. Castilla y León (Spain): Insituto de la Construcción de Castilla y León (ICCL).
- Oficina Catalana del Canvi Climàtic. (2013). *Evolució de les emissions en Catalunya de 1990 a 2011*. Barcelona (Spain): Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat.
- Oke, T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **108**(455), 1-24. DOI:10.1002/qj.49710845502
- Oke, T. R. (1988). Street Design and Urban Canopy Layer Climate. *Energy and Buildings*, **11**(1-3), 103-113. DOI:10.1016/0378-7788(88)90026-6
- Olgay, V. (2002). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona (Spain): Gustavo Gili. ISBN: 8425214882
- Oller, R. y Langohr, K. (2015). FHtest: Test for Right and Interval-Censored survival Data Based on the Fleming-Harrington Class, R package version 1.3.
- Ordenança, de 26 de març, dels usos del paisatge urbà de la ciutat de Barcelona (1999). Barcelona (Spain): Ajuntament de Barcelona.
- Pacte Nacional per a l'habitatge 2007-2016 (2010). Catalunya (Spain): Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Direcció General de Qualitat de l'edificació i Rehabilitació de l'Habitatge.
- Pacte per a la mobilitat de l'Hospitalet (2003). Hospitalet de Llobregat (Spain): Ajuntament de l'Hospitalet de Llobregat.
- Paricio, A., Ratera, J. y Casanovas, X. (1999). *Estudi de costos orientatiu de rehabilitació i manteniment de les façanes de l'Eixample*. Barcelona (Spain): ProEixample. ISBN: 84-930644-1-6
- Pérez, J. C. (2006). *Piel inteligente*. Máster en Arquitectura y Sostenibilidad en la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).

- Pop, G. y Bucksch, A. (2007). Combining modern techniques for urban 3D modelling. En *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International*. Barcelona (Spain). 2067 - 2070. DOI:10.1109/IGARSS.2007.4423239
- QGIS Development Team (2016). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. URL <http://www.qgis.org/>
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. Vienna (Austria): R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>.
- Ranzinger, M. y Gleixner, G. (1997). GIS-datasets for 3D urban planning. *Computing, Environment and Urban Systems*, **21**(2), 159-173. DOI:10.1016/S0198-9715(97)10005-9
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (2006). España: Boletín Oficial del Estado (BOE).
- Real Decreto Ley 8/2011, de 1 de julio, de medidas de apoyo a los deudores hipotecarios, de control del gasto público y cancelación de deudas con empresas y autónomos contraídas por las entidades locales, de fomento de la actividad empresarial e impulso d (2011). España: Boletín Oficial del Estado (BOE).
- Rodrigues, M. F. S., Teixeira, J. M. C. y Cardoso, J. C. P. (2011). Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology. *Construction building materials*, **25**(5), 2741-2750. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2010.12.029
- Rossum, G. y Development Team (2010). The Python Language Reference Manual, release 2.7.12. en <http://docs.python.org/2.7/>
- Roy, B. (1971). Problems and methods with multiple objective functions. *Mathematical Programming*, **1**(1), 239-266. DOI:10.1007/BF01584088
- Roy, B. y Bierter, P. (1972). La méthode ELECTRE II: une application au media-planning. En *Proceedings of the VI Ifors International Conference on Operational Research*. Dublin (Ireland). 291-302.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: planing, priority setting, resource allocation*. Texas (USA): McGraw-Hill. ISBN: 0070543712
- Sagués Esteban, A. (2015). *Grau de fiabilitat de les dades en les inspeccions visuals de façanes*. Trabajo Final de Máster en Edificación en la Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).
- Saiz-Jimenez, C. (1997). Biodeterioration vs biodegradation: the role of microorganisms in the removal of pollutants deposited on historic buildings. *International biodeterioration and biodegradation*, **40**(2-4), 225-232. DOI:10.1016/S0964-8305(97)00035-8
- Santos, P., Marte, M. A., Gibert, V. y Royano, V. (2011). *Caracterización de fachadas*. Máster Universitario en Edificación en la Escola Politècnica Superior de l'Edificació de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (Spain).

- Sarja, A., Bamforth, P., Caccavelli, D., Chevalier, J.-L., Durucan, S. y Setzer, M. J. (2005). *European guide for life time design and management of civil infrastructures and buildings*. Espoo (Finland): Cluster Lifetime Network.
- Serrat, C. y Gibert, V. (2011). Survival analysis methodology for service life prediction and building maintenance. En *XII International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Porto (Portugal). 599-606.
- 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*.
- Shohet, I. M. (1999). Deterioration patterns for maintenance management - A methodological approach. En *VIII International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Vancouver (Canada). 1666-1678.
- Silvestre, J. D. y de Brito, J. (2009). Ceramic tiling inspection system. *Construction building materials*, **23**(2), 653-668. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2008.02.007
- Skauge, J. (1995). Urban design analysis by computer. *Cities*, **12**(6), 425-430. DOI:10.1016/0264-2751(95)00089-5
- Sousa, M., Abrantes, V. y Peixoto de Freitas, V. (1999). Survey of the durability of facades of 4000 dwellings in northern Portugal. Retrofitting of facades. En *VIII International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Vancouver (Canada). 1040-1050.
- Summers, P. W. (1964). *An urban ventilation model applied to Montreal*. Thesis to Department of Meteorology (McGill University), Montreal (Canada).
- Talayero, A. P. y Telmo, E. (2008). *Energías renovables: energía eólica*. Zaragoza (Spain): Prensas Universitarias de Zaragoza. ISBN: 9788492521210
- Tang, W., Davidson, C. I., Finger, S. y Vance, K. (2004). Erosion of limestone building surfaces caused by wind-driven rain: 1. Field measurements. *Atmospheric Environment*, **38**(33), 5589-5599. DOI:10.1016/j.atmosenv.2004.06.030
- Tenzera, D., Puz, G. y Radic, J. (2012). Visual inspection in evaluation of bridge condition. *Gradevinar*, **64**(9), 717-726.
- Therneau, T. y Lumley, T. (2012). *Survival: Survival analysis including penalised likelihood*. R package version 2.36-12. <http://cran.r-project.org/package=survival>
- Trovato, G. (2007). *Des-velos: autonomía de la envolvente en la arquitectura contemporánea*. Madrid (Spain): Akal. ISBN: 9788446023180
- Turnbull, B. W. (1976). The empirical distribution function with arbitrarily grouped, censored and truncated data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, **38**(3), 290-295.
- Un-Habitat. (2016). *Urbanization and development: emerging Futures - World Cities report 2016*. Nairobi (Kenia). ISBN: 978-92-1-133395-4
- UNE 178301. (2015). *Ciudades Inteligentes. Datos Abiertos (Open Data)*. Madrid (Spain): Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

- Vallejo, F.J.L. (1990). *Ensuciamiento de fachadas por contaminación atmosférica: análisis y prevención*. Valladolid (Spain): Universidad de Valladolid. Secretariado de Publicaciones (Caja Salamanca). ISBN: 8477621179
- Vallejo, F.J.L. (1993). Acción del agua sobre las fachadas. *Montajes e instalaciones: Revista técnica sobre la construcción e ingeniería de las instalaciones*, **23**(263), 57-73. ISSN: 0210-184X
- Vardoulakis, S., Gonzalez-Flesca, N. y Fisher, B. E. A. (2002). Assessment of traffic-related air pollution in two street canyons in Paris: implications for exposure studies. *Atmospheric Environment*, **36**(6), 1025-1039. DOI:10.1016/S1352-2310(01)00288-6
- Verbeke, G y Molenberghs, G. (2000). *Linear Mixed Models for Longitudinal Data*. New York (USA): Springer Series in Statistics. DOI: 10.1007/b98969 ISBN: 978-0-387-22775-7
- Wellner, J.A. y Zhan, Y. (1997). A Hybrid Algorithm for Computation of the Nonparametric Maximum Likelihood Estimator From Censored Data. *Journal of the American Statistical Association* **92**(439), 945-959. DOI: 10.1080/01621459.1997.10474049.
- Whitehand, J. W. R. (2007). Conzenian urban morphology and urban landscapes. In *Proceedings of VI International Space Syntax Symposium*, Vol. 1 - ii 01-09. Estambul (Turkey).
- Yáñez, G. (1988). *Arquitectura solar: aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural*. Madrid (Spain): Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. ISBN: 8474335426
- Zarza, D. (1996). Una interpretación fractal de la forma de la ciudad. En *Cuadernos de Investigación Urbanística*. Madrid (Spain): Escuela Técnica Superior de Arquitectura. ISBN: 9788487130397