



TESIS DOCTORAL

**MODELO DE EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA Y
AMBIENTAL DE LA RECUPERACIÓN DE EDIFICIOS**

Aplicación en edificios residenciales de la ciudad de Sevilla

M^a Desirée Alba Rodríguez

Directora: Dra. D^a. Madelyn Marrero Meléndez

junio 2016

A Antonio, por su generosidad, por esperarme siempre, por pausar su vida para permitirme avanzar y cumplir mis sueños, sin tan sólo una queja.

Gracias

AGRADECIMIENTOS

Quisiera comenzar por el alma más sincera, luchadora, fuerte e incansable que conoceré jamás, pero a la vez sensible, dulce y cariñosa, cualidades que la convirtieron en la mejor madre que se pueda tener, pues tubo la fortaleza suficiente de protegernos de la vida tan dura que le toco vivir, sin dejar de ser una madre amorosa y cálida que logró, a pesar de las circunstancias, que sus hijos viviéramos una infancia plena. Por ese gran regalo no me cansaré nunca de darle las gracias, sin su ejemplo de superación no habría llegado hasta aquí.

A mi directora de tesis, Dra. Madelyn Marrero Meléndez, que con su incansable sonrisa ha conseguido darme aliento para perseverar en esta difícil andadura investigadora, gracias por creer en mí.

Al grupo de investigación, en especial a mis compañeros Antonio Ferreira, Patricia, Alejandro y Andrés, con quienes he compartido diariamente las inquietudes surgidas, ofreciéndome en todo momento apoyo, ánimo y comprensión, gracias por acompañarme en este camino que compartimos.

A mis compañeros del departamento de construcciones arquitectónicas II:

A su director Dr.D.Valeriano Lucas Ruiz, por su apoyo, su constante desvelo y el inestimable afecto que me muestra cada día.

A la Dra. Rosa M^a Domínguez, por el cariño demostrado en todos estos años, su vocación docentes es mi ejemplo de superación.

Al Dr. Juan Castro Fuertes, por iniciarme en el mundo de la docencia que me apasiona.

A la gestora del departamento, Amparo Galindo, por esas charlas en las que me brinda consejos, ánimo y paciencia.

A mis compañeros, con los que comparto no sólo docencia, sino labores investigadoras; Dr. Jaime Solís, Dr. Rafael Llácer, Dr. Rafael Lucas, Dra. Pilar Mercader.

Al Dr. D. Antonio Ramírez de Arellano Agudo, que con su amplia experiencia en tesis doctorales me orientó y guio en esta senda de la investigación.

A mis compañeros de estudios, especialmente a Fatimita, quien a pesar del distanciamiento sigue ocupando su espacio en mi vida.

A mis amigos, por entender mis horas de dedicación y posponer nuestra relación a la finalización de este trabajo.

Por supuesto a mi familia, por estar siempre ahí, a mis hermanos, a mi cuñada y especialmente a mi sobrina Yumara, quien continuamente estuvo animándome y dándome su cariño.

A Moisha, por su compañía en esas largas tardes frente al escritorio.

Y a todas esas personas que, aunque no mencione expresamente en estas líneas, me ha mostrado su apoyo en esta andadura.

La investigación desarrollada en la presente tesis ha contado con dos ayuda económicas, la primera fase de la investigación se ha realizado dentro del contrato de investigación

VEARE, financiado por la empresa Gabinete de Gestión Técnica Asistencia y Servicios Generales, S.L. Administrador Antonio J. Mata Serrano. (Tipo de Proyecto: Contrato 68/83 Ref: 1406/0492). El desarrollo del modelo de evaluación se realiza dentro del segundo contrato, Huella ecológica de la recuperación de edificios: Viabilidad económica y ambiental (HEREVEA), financiado por la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía (Tipo de Proyecto: Contrato 68/83 Ref: 2434/0604).

Índice

INTRODUCCIÓN	3
<u>Etapa 1: Fase previa al desarrollo del modelo</u> .....	.
ESTADO DE LA CUESTIÓN	9
1. Debate demolición vs recuperación de edificios	9
2. Aspectos ambientales	11
2.1. Indicadores ambientales	13
2.2. Indicador Huella Ecológica (HE)	14
2.3. Indicador HE aplicado al sector edificación	20
3. Aspectos económicos	25
3.1. Modelo de clasificación y presupuestación en edificación (BCCA)	26
<u>Etapa 2: Objetivos, metodología y desarrollo</u> .....	.
OBJETIVOS	37
Mapa metodológico	41
METODOLOGÍA Y DESARROLLO	47
4. <u>Fase 1</u> : Estado actual de edificios en fase de recuperación	47
4.1. Obtención de la información catastral	47
4.2. Creación de base de datos en soporte SIG	49
5. <u>Fase 2</u> : Análisis integral de costes	55
5.1. Evaluación del impacto económico	55
5.1.1. Modelo de presupuestación aplicado a recuperación	56
5.1.2. Procedimiento de redacción y cálculo de precios de recuperación	59
5.1.3. Definición del contorno de los precios de recuperación	71
5.1.4. Precios de demolición/gestión de residuos y nueva construcción	100
5.2. Evaluación del impacto ambiental	102
5.2.1. Indicador HE aplicado a recuperación de edificios	102

5.3. Obtención del modelo de viabilidad	118
5.3.1. Integración de los costes económicos y ambientales.....	118
6. <u>Fase 3: Validación del modelo</u>	131
6.1. Presentación del estudio de caso: Barriada “RENFE”	131
6.1.1. Descripción del estudio de caso.....	132
6.1.2. Aplicación del modelo al estudio de caso	144
6.2. Análisis de sensibilidad del modelo.....	159
 <u>Etapa 3: Resultados de validación y conclusiones</u>	
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	167
7. Estudio de caso: Barriada “RENFE”	167
7.1. Impacto económico de la recuperación	167
7.2. Impacto ambiental de la recuperación	170
7.3. Comparativa económica y ambiental de la recuperación por capítulos	177
7.4. Resultados económicos y ambientales demolición/nueva construcción	178
7.5. Comparativa recuperación vs demolición y nueva construcción	182
7.6. Comparativa de mejora energética: Edificio recuperado vs nuevo edificio ...	183
8. Resultados del análisis de sensibilidad del modelo	187
CONCLUSIONES	201
 <u>Etapa 4: Futuras investigaciones, glosario y referencias</u>	
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	205
GLOSARIO DE TÉRMINOS	209
REFERENCIAS	215

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La recuperación de edificios es una pieza clave para la sostenibilidad de nuestras ciudades, pues la sostenibilidad se puede entender como condición para extender la vida de la humanidad así como sus inversiones, a lo que hay que añadir el hecho de que la mayoría de los edificios que se habitarán en el futuro ya se han construido. Partiendo de estas premisas se hace evidente la necesidad de conservar las edificaciones existentes, para lo cual es indispensable la creación de instrumentos que permitan analizar las singularidades que caracterizan a las obras de recuperación.

Antes continuar avanzando es necesario hacer un apunte referido a la terminología empleada en la tesis, más concretamente al término aplicado al tipo de obra objeto del presente estudio, las obras de recuperación. Esta aclaración se convierte en necesaria debido a las múltiples expresiones que se emplean para hacer referencia a la ejecución de obras sobre edificios existentes, empleándose con frecuencia de forma indiscriminada e incluso como sinónimos vocablos como rehabilitar, reformar, restaurar o recuperar. La mejor manera de comprender la determinación de emplear el término recuperación en el presente estudio es comparando las definiciones que proporciona la Real Academia de la Lengua Española a estos términos (RAE, 2015). Rehabilitar: habilitar de nuevo o restituir una cosa a su antiguo estado; Reformar: Volver a formar, arreglar; Restaurar: reparar una pintura, escultura o edificio del deterioro sufrido; Recuperar: volver a poner en servicio algo que ya está inservible.

La dificultad de asignar el término adecuado surge cuando se acometen simultáneamente intervenciones de diversas tipologías, reformándose y rehabilitándose distintos elementos de un mismo edificio, por lo que surge la necesidad de emplear un término que defina al conjunto de intervenciones. Es frecuente que se emplee el término restauración para actuaciones sobre edificios singulares de interés histórico artístico, y rehabilitación para las edificaciones comunes. Sin embargo, dado que el modelo de evaluación de viabilidad que se desarrolla será de aplicación en la etapa final del ciclo de vida del edificio, en el momento en el que se plantea como alternativa demolerlo y volver a construirlo, se ha considerado que el término que más se asemeja a la definición dada por la RAE es el de recuperación de edificios, por centrarse el estudio en dicha etapa final del ciclo de vida considerándose que el edificio ha de ser puesto en servicio de nuevo. El Banco de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA, 2014), documento base en el desarrollo del modelo, también emplea el término recuperaciones para nombrar a los subcapítulos donde engloba las actuaciones a ejecutar sobre edificios existentes, por considerarse que en estas se desarrollan tanto operaciones de rehabilitación como de reformas y restauración, ya que el término recuperación se mueve en un espectro más amplio, abarcando el resto de operaciones.

La obsolescencia a la que se están viendo evocados los parques de vivienda social en España, normalmente está siendo resuelta con el apremio que produce la urgencia social, sin sustentarse en un soporte teórico-conceptual que aporte criterios unitarios o herramientas sistematizables que eviten el gran elenco de casuísticas y medidas, tanto

técnica como económicamente fallidas y ambientalmente insostenibles (García Vázquez, 2015), como ocurre con los grandes procesos de demolición masiva y los planes de reubicación forzada, procesos que causan grandes daños a las comunidades existentes. Esta situación motiva la creación de modelos que permitan actuar con las máximas garantías de éxito ante la difícil decisión de recuperar o demoler el edificio, con herramientas capaces de dar sustento a tan complejo proceso decisivo mediante la evaluación objetiva y cuantitativa de las variables que definen la viabilidad de la recuperación, consiguiendo un proceso sistematizable, inspirado en valores económicos y ambientales comprometidos.

Este compromiso ambiental va encaminado a la reducción del impacto producido por las actuaciones llevadas a cabo en el edificio, pero no es posible poner en marcha acciones que reduzcan dicho impacto si no somos capaces de medirlo, por ello se hace imprescindible el uso de indicadores ambientales que nos permiten cuantificar el impacto producido en el medio derivado de los procesos constructivos. Para ello, en el sector edificatorio, donde se analizan los recursos empleados a lo largo de su ciclo de vida, generalmente se han empleado herramientas que siguen la metodología del análisis de ciclo de vida (ACV) (Zabalza Bribián et al. 2011 y Malmqvist y Glaumann, 2009), aunque pueden aplicarse diversas metodologías al sector de la construcción, como el análisis de emergía (Meillaud et al. 2005) y el análisis de flujo de materiales (Sinivuori y Saari, 2006). Pero actualmente hay una tendencia a usar metodologías más simples cuyos resultados sean entendibles por la sociedad no científica, y de fácil aplicación en políticas medioambientales y toma de decisiones, es en este punto donde la huella ecológica (HE) es la más prominente. Esto le permite ser empleado en la implementación de herramientas relativamente sencillas y de fácil acceso, que permita realizar la evaluación ambiental de la edificación, por ello se considera el indicador idóneo para el desarrollo del modelo de cuantificación propuesto en la presente tesis.

Los antecedentes de la huella ecológica se inician en el año 1996, cuando los profesores Mathis Wackernagel y William Rees de la Universidad de la Columbia Británica (Vancouver, Canadá) establecieron por primera vez la definición de HE (Ecological Footprint) como "la extensión de tierra que sería necesaria para suministrar los recursos (cereales, pienso, leña, pescado y terreno urbano) y absorber las emisiones (CO₂) de la sociedad mundial" (WWF, 2008). Ha sido usado para predecir impactos a gran escala, como los impactos que generará la humanidad en el Planeta Tierra, así como para calcular la huella que periódicamente producen los distintos países, ciudades o incluso sectores productivos.

Dada la capacidad que presenta el indicador HE para reducir la escala de aplicación, su metodología ha sido adaptada a las particularidades del sector de la construcción por varios autores, entre los que destacan Bastianoni et al. (2007) y Solís-Guzmán, et al. (2013), ambos contemplan tan sólo la fase de construcción del edificio.

El aspecto económico juega un papel fundamental en el desarrollo del modelo que se plantea, pues empleando la estructura de clasificación sistemática del BCCA (2014) se

consigue obtener el banco de costes de recuperación (BCCR) que proporciona no sólo la valoración económica de las actuaciones, a través de los descompuestos de cada una de las partidas, los rendimientos y cantidades de los recursos empleados se clasifican en elementos básicos totales de mano de obra, materiales y maquinaria que definen la HE en edificación, lo que permite evaluar esos impactos desde el punto de vista ambiental.

En este marco de trabajo se desarrolla la presente investigación, con la creación de un modelo que permita la evaluación técnica, económica y ambiental de la recuperación de edificios frente a su demolición y nueva construcción. Para la obtención del modelo se han abordado varios retos secundarios englobados dentro de la investigación principal: el primero de ellos, la creación de una base de costes de recuperación que permitiese la cuantificación tanto económica como de los recursos empleados para la posterior aplicación del indicador HE en edificación. El segundo, la adaptación del modelo HE en edificación tanto por las particularidades de la fase de recuperación como por las necesidades de actualización de algunos de los planteamientos originales. Y por último, el proceso de integración de los costes económicos y ambientales que dan como resultado el motor de cálculo integrado en el modelo de evaluación de viabilidad.

La estructura de la tesis se plantea en cuatro etapas: Etapa 1: Fase previa al desarrollo del modelo, donde se analiza el contexto y estado actual de las investigaciones llevadas a cabo a nivel mundial en temas relacionados con la evaluación económica y ambiental de la recuperación de edificios. Etapa 2: Objetivos, metodología y desarrollo, es en esta etapa donde se explica el modelo de evaluación estructurando su desarrollo en varias fases. Etapa 3: Resultados de validación y conclusiones, y por último, Etapa 4: Futuras líneas de investigación, glosario de términos y referencias.

En la primera etapa previa al desarrollo del modelo se plantea el estado de la cuestión, en este capítulo se realiza un acercamiento al debate demolición frente a recuperación de edificios, así como un análisis previo del aspecto ambiental para una primera toma de contacto con los indicadores ambientales, centrándonos en el indicador HE y en su aplicación en edificación. También se introduce el aspecto económico, haciendo un repaso de los sistemas de clasificación de la información de construcción (SCIC) y profundizando en el sistema de clasificación y presupuestación empleado en el modelo de evaluación (BCCA).

La segunda etapa está englobada por los objetivos, metodología y desarrollo del modelo. El capítulo Objetivos se aborda partiendo del objetivo principal, del cual se descuelgan objetivos de menor rango, pero de igual importancia. A continuación se desarrolla la metodología del modelo, apoyada en un mapa metodológico que permite clarificar las tres fases en la que se estructura el método: Fase 1: Estado actual de la recuperación de edificio, donde se realiza un análisis de mercado de las edificaciones en fase de recuperación así como la identificación de la tipología edificatoria más representativa en la ciudad de Sevilla. Fase 2: Análisis integral de costes, se analizan el coste económico de la recuperación, así como el coste ambiental a través de la metodología HE para

edificación, obteniendo un procedimiento integrador. Fase 3: Validación del modelo, se pretende comprobar la sensibilidad del modelo de evaluación desarrollado, a partir de aplicaciones a casos reales de edificios residenciales de la ciudad de Sevilla, además de comprobar la adecuada integración de los costes económicos y ambientales que permiten el análisis integral de costes que se pretende.

En la etapa tres, referida a los resultados de validación y conclusiones, se realiza la recapitulación de los resultados obtenidos de la aplicación del modelo de evaluación de viabilidad sobre los estudios de caso de validación seleccionados. Esta etapa se cierra con la exposición de las conclusiones obtenidas a partir de los resultados y de los objetivos principales y secundarios planteados al comienzo de la investigación.

En la cuarta y última etapa de la tesis se presentan las futuras líneas de investigación relativas a la continuidad de la investigación desarrollada, para lo cual es necesario puntualizar que la presente tesis se desarrolla en el seno del grupo de investigación Arditec. Los investigadores del grupo trabajan en el ámbito de la arquitectura, ingeniería y medio ambiente, entre otros, lo que les permite afrontar el reto de desarrollar el modelo de evaluación para el ciclo de vida completo del edificio, la presente tesis es una pieza fundamental para completar la fase final de dicho ciclo.

Finalmente, cierran esta última etapa los apartados de glosario de términos, donde se incluye la terminología específica así como las abreviaturas empleadas, y el apartado de referencias, que recoge la bibliografía consultada para el desarrollo de la investigación. En los anexos digitales se aporta la documentación que complementa el desarrollo del modelo de evaluación de la viabilidad expuesto.

Etapa 1: Fase previa al desarrollo del modelo

ESTADO DE LA CUESTIÓN

ESTADO DE LA CUESTIÓN

1. Debate demolición vs recuperación de edificios

El debate entre la recuperación de edificios o su demolición se ha desarrollado intensamente desde los grandes movimientos migratorios de zonas rurales a urbanas que se produjeron en el siglo XX, y en el presente debido a la necesidad de regeneración en grandes centros urbanos (Laefer y Manke 2008, Rackrha 1983, Denhez 2007). Gran parte del actual parque de viviendas de la Unión Europea, en la actualidad carecen de las cualidades requeridas para cumplir con las necesidades actuales, por ello los barrios formados por este tipo de viviendas se encuentran bajo continua amenaza de demolición. Hecho que pone en evidencia lo que se venía revelando desde hacía años, que la rehabilitación de edificios se convertiría en la actividad dominante en el sector de la construcción (Kohler y Hassler, 2002).

En España, esta reactivación del sector construcción hacia las intervenciones en ediciones existentes no se debe únicamente al precario estado en el que se encuentra su parque de viviendas, la realidad económica y financiera del país ha convertido en prioridad lo que era una necesidad, abordar con nuevos planteamientos el tratamiento de la ciudad y la edificación, promoviendo su regeneración integrada y energéticamente eficiente, impulsando un nuevo paradigma normativo mediante la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbana (Tejedor, 2015).

Este marco normativo (Ley 8/2013) ofrece posibilidades de intervención sobre el parque de viviendas, a implementar desde los ámbitos autonómico y local, brindando a nivel nacional la posibilidad de pasar definitivamente a la práctica de la rehabilitación generalizada, sistematizada, con criterios urbanísticos y de sostenibilidad del amplio patrimonio edificado existente, dejando atrás la práctica de la rehabilitación como actividad minoritaria frente a la construcción de nuevos edificios, a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de los países europeos de nuestro entorno (Rubio de Val, 2015).

En cuanto al citado debate, los aspectos financieros suelen inclinar la balanza hacia acciones de recuperación de edificios antes que a la demolición y nueva construcción. Normalmente estos estudios se centran en el potencial de ahorro energético de los edificios una vez recuperados (Goldstein et al. 2013), pero se han dado sugerencias para evaluar este ahorro en conjunto con otros aspectos, como el incremento de valor de un edificio o la mejora de las condiciones de sus elementos constructivos (Martinaitis et al. 2004, Zavadskas et al. 2008). A pesar del ahorro de costes directos e indirectos derivados de los complejos procesos de demolición, teniendo en cuenta las

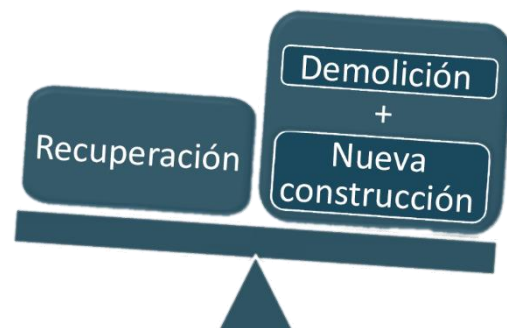


Figura 1.1: Estudio de viabilidad: Recuperación vs demolición/nueva construcción

dificultades específicas derivadas de las obras sobre edificaciones existentes, la recuperación no siempre es la solución más económica. Es en este punto cuando entra en consideración el aspecto social, de vital importancia en el proceso decisivo, hay que tener siempre presente que las edificaciones pueden estar habitadas y la decisión tomada influye en la vida tanto de los residentes como en los vecinos de las edificaciones colindantes, de hecho, el impacto de la demolición y los planes de reubicación forzada genera grandes daños sociales en las comunidades existentes, este impacto en los ancianos es extremadamente negativo, pero este hecho es pasado por alto en la gran mayoría de los casos (Mumford y Power, 2002). Algunos autores consideran que la recuperación o rehabilitación de edificios es una práctica social (Judson y Maller, 2014), y que es esencial implicar a los habitantes del edificio en los procesos de rehabilitación, sobre todo en los casos en los que conjuntamente se vaya a llevar a cabo rehabilitación energética, ya que no son los edificios los que consumen energía, sino las personas que los ocupan y que no se comportan tal y como dice un software teórico de simulación energética (Gram-Hanssen, 2014).

Como ya se ha puntualizado, la demolición de las edificaciones es una medida lenta y costosa, no sólo desde el punto de vista económico y ambiental como se ha señalado en los apartados anteriores, sino que conlleva un elevado coste social, llegando a ser rechazada incluso por los propios residentes, ya que origina la necesidad de ser realojados durante largos periodos de tiempo, lo que conlleva, en la mayoría de ocasiones, una tremenda modificación e incluso paralización de la cotidianidad de sus vidas. Esta negativa social ante la demolición empuja con fuerza hacia la incentivación de la recuperación y mejora de las viviendas, abriendo camino a nuevos estudios de planificación de los trabajos de recuperación para minimizar el impacto en los usuarios de un edificio sin interrupción de su uso (Lee, 2012). Esta planificación está enfocada al cierre de pasillos y obstrucción de zonas ocupadas por los usuarios del edificio, y consigue diseñar un método basado en la instalación de pasajes temporales y la optimización del calendario de obra mediante un motor de simulación de retrasos por paso de personas.

Ante este debate, especialistas en el tema estudian los factores sociales, políticos y ambientales a nivel europeo (Power, 2008), pues se está mostrando un gran interés por la opción de la recuperación por parte de la población, que quiere defender sus barrios de la demolición. Por ejemplo, el Ministerio de Vivienda de Alemania ha demostrado a través de miles de casos que es posible reducir el uso de energía de las viviendas en un 80% por medio de la recuperación, llegando a niveles de edificios de nueva construcción. Según la citada Anne Power, la demolición y nueva construcción implican mayores costes, desperdicio de material, emisiones, uso de camiones para transporte de materiales y residuos, así como mayor ruido y molestias. Por el contrario, la rehabilitación regenera los barrios y evita la expansión innecesaria de las ciudades por el abandono de barrios degradados.

Por tanto, aparecen varios aspectos a tener en cuenta desde el punto de vista ambiental, social y económico (Power, 2010):

- la necesidad de más viviendas accesibles,
- el alto coste del suelo y de la construcción,
- el elevado consumo energético de las viviendas,
- la necesidad de reparar y mantener miles de viviendas para mejorar su comportamiento energético y el confort de sus ocupantes.

Los anteriores aspectos dan lugar a analizar en profundidad:

- si la demolición de las viviendas en peor estado contribuye realmente a la eficiencia energética y a la reducción de emisiones,
- el impacto social, ambiental y económico potencial de la demolición,
- investigar si la recuperación y rehabilitación de edificios ahorran energía,
- explorar alternativas para que comunidades existentes puedan acceder a las viviendas y éstas a su vez sean eficientes energéticamente en el medio y ubicación considerados.

A esto último hay que sumarle que la recuperación de edificios está normalmente infravalorada, aun cuando la necesidad de recuperación suele ocurrir en zonas con alta densidad poblacional y de vivienda barata donde los vecinos con bajo poder adquisitivo no tienen la posibilidad de acceder a viviendas nuevas (Power y Houghton, 2007).

Por otro lado, la planificación de nuevos barrios se basa principalmente en la oferta y la demanda, excluyendo del análisis consideraciones sociales como la familia, las escuelas, hospitales, el transporte a los centros de trabajo, etc. Las nuevas urbanizaciones no generan identificación de los habitantes con su entorno más próximo y dificultan el acceso a los centros urbanos, de vital importancia para acceder al trabajo, a los servicios y también para reducir el impacto ambiental del transporte (UTF, 1999).

A través de una serie de encuestas a distintos agentes del sector, Bullen y Love (2010; 2011) llegaron a la conclusión de que los criterios clave para la toma de decisiones en casos de recuperación frente a demolición y nueva construcción eran el coste de la inversión, las condiciones del edificio y la normativa. Otros factores como los principios medioambientales o sociales quedaban relegados a un segundo plano.

2. Aspectos ambientales

Ante la recién adquirida conciencia en el ámbito de la sostenibilidad, los aspectos medioambientales cobran relevancia y comienzan a ser elemento clave en la toma de decisiones, dejando de ser una cuestión meramente económica (Thomsen y Van der Flier, 2009). Algunos autores ya han estudiado los efectos ambientales del ciclo de vida de los edificios en función del tiempo, llegando a la conclusión de que, en un escenario en el que un edificio dura 100 años, la energía consumida es mayor si se mantiene tal como se construyó o si sufre una demolición y nueva edificación, y menor si se consolida o transforma (Itard y Klunder, 2007). En este modelo, tanto la transformación como la

consolidación suponen un impacto ambiental puntual considerable, pero también una mejora en la eficiencia energética del edificio.

En esta línea, Verbeek y Cornelis (2011) analizan la recuperación o demolición/nueva construcción de parte del stock de viviendas de Bélgica bajo distintos escenarios, desde un punto de vista energético, económico y ambiental. Finalmente llegan a la conclusión de que el ahorro energético anual, por sí solo, no justificaba la demolición/nueva construcción, y sólo tiene sentido esta opción si el edificio está en pésimas condiciones de habitabilidad y la rehabilitación va a suponer un gran coste. Desde el punto de vista medioambiental, concluyen que la demolición/nueva construcción no tiene necesariamente que ser peor que la recuperación, basándose en que el ahorro de energía que se puede conseguir es mayor al sustituir el edificio por uno nuevo, y si en las obras de demolición se maximiza la reutilización y reciclaje de residuos el elevado impacto ambiental de estas también se vería reducido.

Estos resultados son clave para hacer ver la importancia del modelo desarrollado en la presente tesis, pues permite vislumbrar que no siempre tendrá menos impacto la recuperación frente a la demolición/nueva construcción, que dependerá de las soluciones aportadas y las medidas medio ambientales llevadas a cabo, las cuales serán cuantificables en el desarrollo del modelo de viabilidad propuesto.

Van den Dobbsteven et al. (2003) diseñan una metodología de análisis matemático simplificado del impacto ambiental de la recuperación frente a la demolición/nueva construcción. Este método se basa en la asignación de costes ambientales puntuales y anuales, siendo los primeros los correspondientes a la construcción, demolición, y posible recuperación, y los segundos los costes de consumo de energía y otros recursos de carácter anual. En su modelo se asume que ambas actuaciones, recuperación o nueva construcción, implican una reducción de los costes anuales, ya que en ambos casos el edificio será más eficiente.

Una de las alternativas a la demolición más interesante consiste en la reutilización de edificios existentes y su ampliación, de este modo se reduce la generación de residuos y el consumo de recursos, mientras que se maximiza la reutilización de materiales (Chapman et al. 2001; 2002; 2003). Lógicamente, esta solución está condicionada por la viabilidad de reutilización de los componentes del edificio en cuestión. Laefer y Manke (2008) llevan a cabo un estudio sobre la reutilización parcial o total de edificios en el que demuestran que pueden producirse ahorros de entre un 4 a un 65% dependiendo del aprovechamiento del edificio existente, mientras que las nuevas construcciones utilizan de cuatro a ocho veces más recursos materiales que la recuperación equivalente (Ireland, 2008; Yates, 2006).

En un estudio llevado a cabo por el University College de Londres se explora la viabilidad de alcanzar, a mitad del presente siglo, una reducción del 60% en las emisiones de CO₂ del stock de viviendas del Reino Unido. En él se evalúan tres escenarios distintos para el sector de la vivienda, obteniendo resultados que sugieren que es técnicamente posible

alcanzar reducciones no del 60, sino incluso del 80% (Johnston et al. 2005). Entre las posibles medidas identificadas se encuentra la de añadir aislamientos externos a viviendas de envolvente sólida, con lo que se reducen las emisiones sin recurrir a demoliciones a gran escala del stock de viviendas.

Según Sezer (2012), los métodos existentes de análisis de impacto ambiental de edificios se centran en la construcción de nuevos edificios. No teniéndose en cuenta en estos modelos las variaciones de productividad debido a las reducciones de rendimiento derivados de las particularidades surgidas en obras de recuperación de edificios, lo que constata la necesidad de desarrollar una metodología que permita una exhaustiva cuantificación de los recursos y cálculo de impacto ambiental adaptada a rehabilitación.

Ahondando aún más en el aspecto ambiental, los barrios de nueva creación representan un gran impacto, debido a la generación de residuos de demolición, al alto consumo energético y de materias primas de los nuevos materiales y a las consecuentes emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero (Solís et al. 2014). Por ello es necesario analizar estos impactos mediante indicadores ambientales, de manera que su magnitud pueda ser calificada y cuantificada.

2.1. Indicadores ambientales

No es posible poner en marcha acciones que reduzcan el impacto producido por las edificaciones si no somos capaces de medir dicho impacto, por ello se hace imprescindible el uso de los mencionados indicadores ambientales que nos permiten cuantificar el impacto producido por los procesos edificatorios en el medio ambiente.

A pesar de que estos indicadores ambientales son cada vez más avanzados, ni comparación tiene con los conocidos indicadores que nos permite saber nuestro desarrollo económico, como el Producto Nacional Bruto (PNB), por ejemplo, por lo que resulta lógico que los primeros intentos para establecer indicadores ambientales partiesen de modificaciones y correcciones realizadas sobre los económicos. Pero estos no incluyen dos elementos imprescindibles, los indicadores de presión de la sociedad sobre el medio ambiente traducidos a contaminación y/o consumo de recursos, ni los indicadores del estado del medio ambiente (biodiversidad, calidad del aire, calidad del agua), por lo que utilizar los clásicos indicadores económicos como indicadores para la cuantificación medioambiental es erróneo e insuficiente (Jiménez Herrero, 2000).

De la multitud de intentos de creación de indicadores ambientales, los considerados más avanzados por su capacidad de integración y mayor operatividad, son los denominados indicadores físicos, entre los que destacan: EROI (Energy Return on (Energy) Input), HANPP (Human appropriation of net primary productivity), MIPS (Insumos Materiales por Unidad de Servicio) y HE (Huella Ecológica) (Domenech, 2010). EROI fue el primer indicador físico empleado en la economía ecológica, basado en la eficiencia del uso de energía en diferentes sectores de la economía.

Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta (AHPPN o HANPP), es un indicador creado por P. Vitousek y otros autores (1986), y se define como la cantidad de energía que los productores primarios (las plantas), ponen a disposición del resto de las especies vivas.

El MIPS, o Insumos Materiales por Unidad de Servicio, es un indicador desarrollado en el Instituto Wuppertal, que añade todos los materiales utilizados directa o indirectamente en el sistema productivo, estos materiales comprenden minerales, carbón, petróleo, biomasa, etc., incluyendo el ciclo de vida completo del producto, y las fases de desecho y reciclaje. Todos estos insumos se miden en toneladas. Este indicador resulta muy interesante, pues es capaz de transformar infinidad de clases diferentes de recursos en una unidad: toneladas de materiales (Schmidt-Bleek, 1994).

Sin embargo, en el sector edificatorio, donde se analizan los recursos empleados a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, pasando por su implantación en obra así como su demolición y posterior reconstrucción, generalmente se han empleado herramientas que siguen la metodología del análisis de ciclo de vida (Zabalza Bribián et al. 2011 y Malmqvist y Glaumann, 2009), aunque pueden aplicarse diversas metodologías al sector de la construcción, como el análisis de emergía (Meillaud et al. 2005) y el análisis de flujo de materiales (Sinivuori y Saari, 2006). Pero actualmente hay una tendencia a usar metodologías más simples, para que la sociedad puede entenderlas más fácilmente, es en este punto donde HE es la más prominente, debido en primer lugar a que los resultados que produce son entendibles por la sociedad no académica, y segundo, a su facilidad de aplicación en políticas medioambientales y toma de decisiones. Esta acumulación de motivos hace del indicador HE el idóneo para el desarrollo del modelo de cuantificación propuesto en la presente tesis.

2.2. Indicador Huella Ecológica (HE)

Como ya se puntualizado, el indicador HE es considerado de gran interés por ser capaz de traducir los consumo de recursos naturales de la población de un territorio a hectáreas de superficie o ecosistema, para luego compararla con la capacidad de carga real del mismo. Es un indicador integrado capaz de mostrar el grado de sostenibilidad de una forma rápida, breve, clara y significativa.

Los antecedentes de la HE se inician en el año 1996, cuando los profesores Mathis Wackernagel y William Rees de la Universidad de la Columbia Británica (Vancouver, Canadá) establecieron por primera vez la definición de la huella ecológica (Ecological Footprint) como “la extensión de tierra que sería necesaria para suministrar los recursos (cereales, pienso, leña, pescado y terreno urbano) y absorber las emisiones (CO₂) de la sociedad mundial” (WWF, 2008).

La principal controversia que origina el indicador HE es su validez como herramienta para medir la sostenibilidad, según su definición, establece que la HE es el total de espacios de tierra y mar, ecológicamente productivos, necesarios para producir todos los recursos consumidos y para asimilar todos sus desechos, por lo que proporcionando una visión

más trascendental, podemos decir que la HE es sinónimo de deuda ecológica. Teniendo en cuenta que el observatorio de la deuda en la globalización, coordinado desde la Cátedra UNESCO de Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Cataluña, cuyo objetivo se centra en las relaciones Norte-Sur y en la generación de deudas entre comunidades, exige la internacionalización de las responsabilidades ambientales con el objetivo de evitar que los ecosistemas del Sur sigan deteriorándose debido a las demandas de los recursos naturales de los países del Norte, así como evitar los acúmulos de desechos (residuos radioactivos e industriales...) que los países ricos exportan y depositan en las áreas deprimidas del planeta, esta nueva visión sobre el indicador HE que permite una traducción directa de los resultados en términos de deuda ecológica deja perfectamente claras y delimitadas las responsabilidades de cada cual en el desequilibrio ambiental (WWF, 2014).

Conceptos básicos de HE

Áreas productivas

La premisa de la que parte la metodología del indicador HE se basa en que todo consumo de recursos, ya sea material o energético así como la absorción de los residuos generados, tienen su traducción en territorio productivo necesario para la producción de los recursos y eliminación de los desechos. De manera que, derivadas de las necesidades de consumo: alimentación (agricultura, ganadería, pesca), bienes de consumo, consumo energético, servicios forestales así como el territorio ocupado directamente para la creación de ciudades e infraestructuras, la metodología de HE cataloga seis áreas productivas (Fig. 2.1):

- Territorio para la absorción de CO₂ (Carbono): se define como la superficie de bosque necesaria para la absorción de la emisión de CO₂ debida al consumo de combustibles fósiles para la producción de energía. Dentro de esta categoría de territorio se contabilizan los consumos en la producción de bienes, gastos en vivienda y transportes, entre otros.
- Territorio agrícola (cultivos): es el área para producir los vegetales que se consumen. Constituye la tierra más productiva ecológicamente y genera la mayor producción neta de biomasa utilizable.
- Superficie de pastos: es el área dedicada al pastoreo de ganado.
- Superficie forestal: es aquella que se emplea para la producción de productos forestales (madera y papel).
- Terreno urbanizado: son las áreas utilizadas directamente, como las urbanizadas o las ocupadas por infraestructuras.
- Mar productivo: es el área para producir pescado y marisco.

Por lo que podemos concluir que la metodología HE se basa en que todas las actividades humanas utilizan tierra biológicamente productiva (o biocapacidad) necesaria para los cultivos, las tierras de pastoreo y las tierras urbanizadas; zonas pesqueras y bosques productivos, así como las área de bosque requerida para absorber las emisiones

adicionales de dióxido de carbono que los océanos no pueden absorber, siendo la suma de estas áreas el resultado de HE producida.

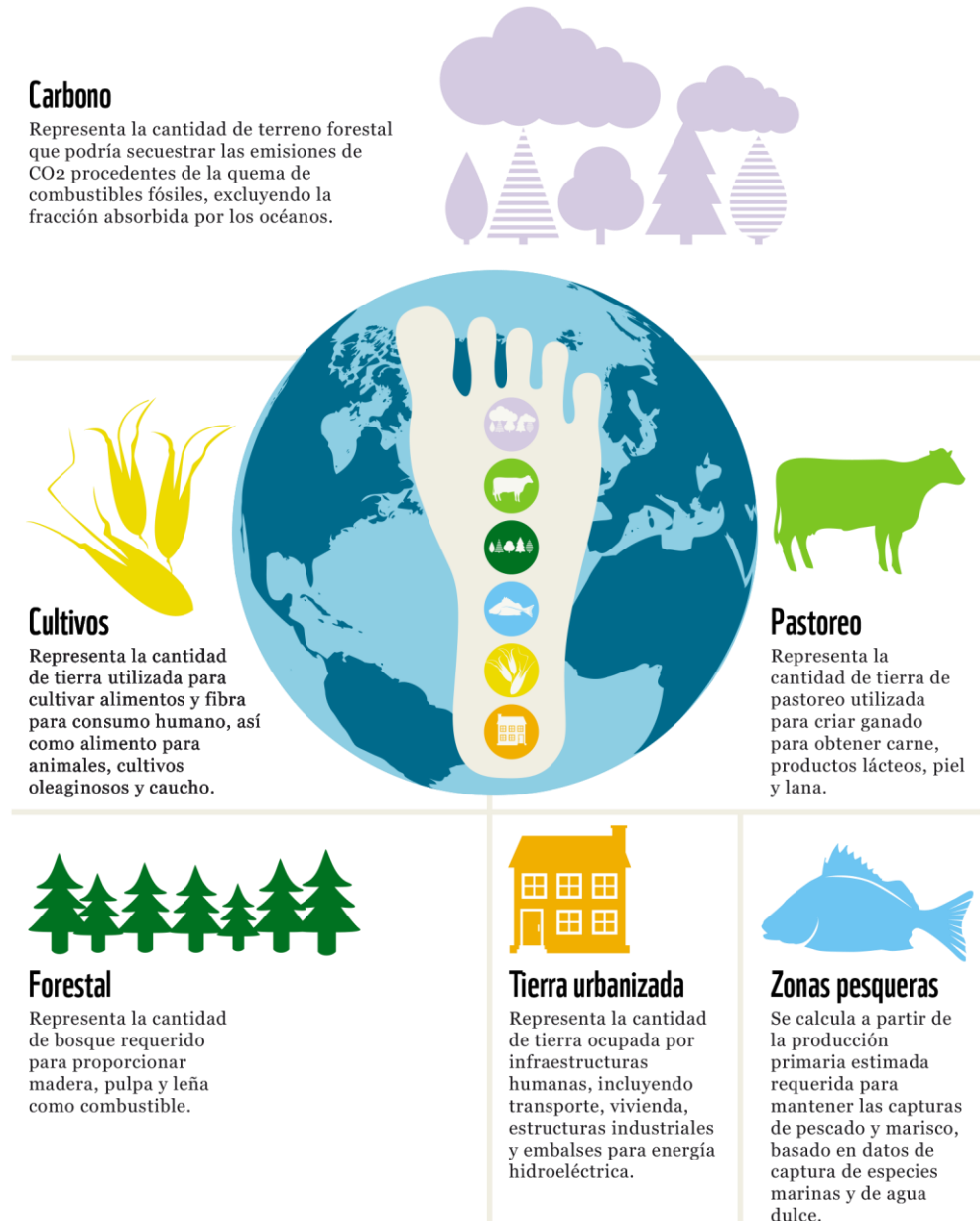


Figura 2.1: Áreas productivas que componen la metodología de HE (WWF, 2012)

Biocapacidad

La biocapacidad se relaciona con la HE de manera inversa, pues la primera cuantifica la capacidad de la naturaleza para producir recursos renovables, proporcionar tierra para construir y absorber las emisiones y residuos generados por la sociedad (Wackernagel y Rees, 1996), mientras que la HE cuantifica la cantidad consumida de esos recursos y las emisiones y recursos generados por la humanidad. Por lo que la biocapacidad actúa como punto de referencia con el que comparar la HE y comprobar si estamos viviendo por encima de nuestras posibilidades medioambientales. Tanto la biocapacidad como la HE se expresan en una misma unidad: hectáreas globales (hag).

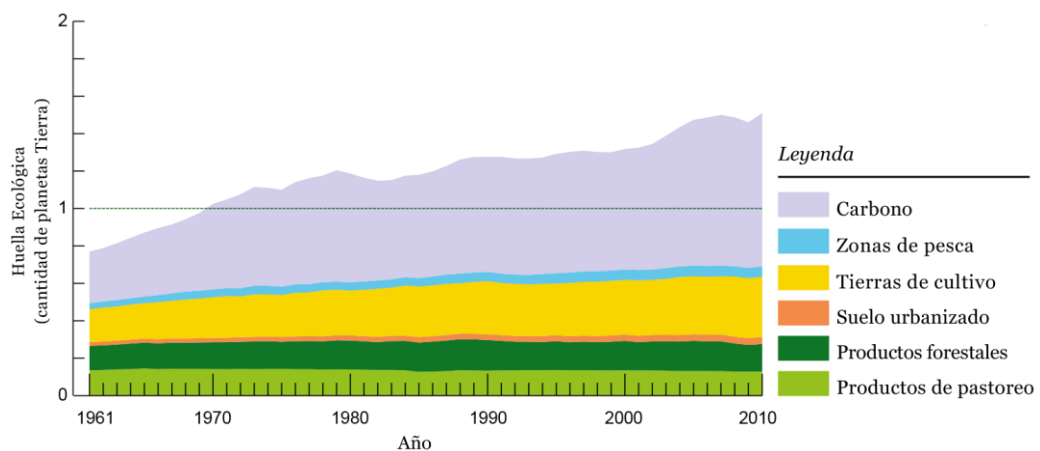


Figura 2.2: HE por componentes, 1961-2010
(Global Footprint Network, 2014)

En la figura 2.2 se exponen los resultados de HE por áreas productivas entre 1961 y 2010, al comparar los resultados con la extensión de tierra disponible se desprende que, durante más de 40 años la humanidad ha cometido un exceso ecológico muy por encima de lo que Planeta puede reponer, por lo que necesitaríamos la biocapacidad de 1,5 planetas Tierra para brindar los servicios ecológicos que usamos cada año. Mantenernos bajo la línea representada en la gráfica significaría que le estamos dando al planeta la posibilidad de regenerarse.

La productividad de un área puede mejorarse para alcanzar más biocapacidad, esta mejora depende de factores como las condiciones meteorológicas, el tipo de gestión, el estado del ecosistema y las prácticas agrícolas. Los avances tecnológicos, los insumos agrícolas y el riego han disparado los rendimientos promedio por hectárea de las zonas productivas, especialmente de las tierras agrícolas, aumentando entre 1961 y 2010 la biocapacidad total del Planeta de 9.900 a 12.000 millones de hectáreas globales (hag) (Fig. 2.3). Pero durante el mismo período, la población humana mundial aumentó de 3.100 millones a casi 7.000 millones, reduciendo la biocapacidad per cápita disponible de 3,2 hag a 1,7 hag. Además, este aumento de rendimiento por hectárea de las áreas productivas generalmente lleva asociada una mayor HE, incrementándose en ese período la HE per cápita de 2,5 a 2,7 hag per cápita. Por lo que, aunque la biocapacidad ha

aumentado globalmente, en vista de la previsión de crecimiento de la población mundial, que se prevé que alcance los 9.600 millones en 2050 y los 11.000 millones en 2100, la biocapacidad disponible para cada uno de nosotros se verá cada vez más reducida, agravándose el ya precario déficit ecológico al que está sometido el Planeta (WWF, 2014).

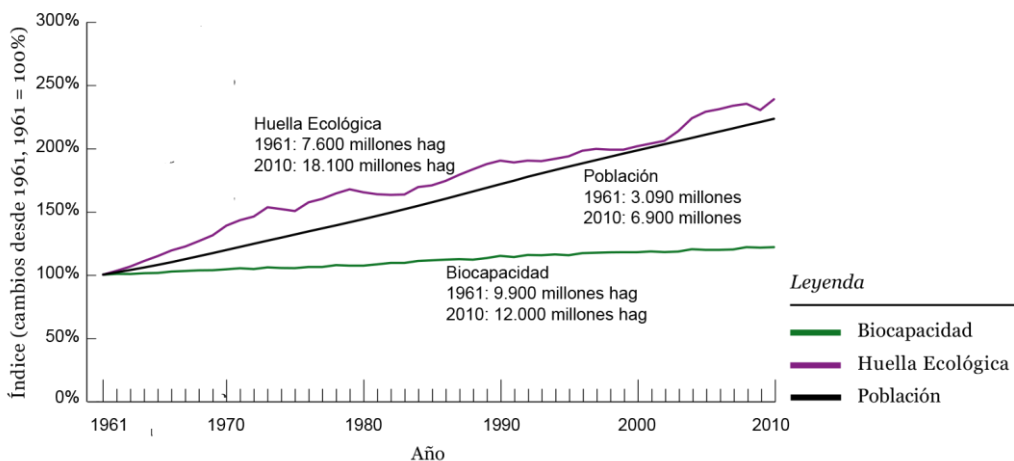


Figura 2.3: Déficit ecológico (Global Footprint Network, 2014)

Factores de conversión

Cada una de las seis áreas productivas ya definidas, lleva asociada una productividad que indica la cantidad de recursos que es capaz de producir por unidad de área. De este modo, cuando conocemos la cantidad de recursos consumidos podemos averiguar qué superficie del terreno productivo correspondiente se necesita para producirlos. Para obtener dicha superficie de terreno productivo es necesario recurrir al empleo de factores de conversión, estos permiten transformar datos que están en determinadas unidades a otras que sirvan para cuantificar los distintos componentes de la huella. Por un lado, el consumo de cada tipo de recurso se divide entre la productividad media mundial de ese recurso, obteniendo el área mundial de un tipo de terreno productivo necesaria para producir la cantidad consumida. Por otro lado, al dividir la productividad media nacional (o regional) entre la productividad media mundial de un tipo de recurso, obtenemos el factor de productividad para ese recurso, que no es más que un coeficiente de conversión que transforma las hectáreas nacionales en hectáreas mundiales. Así pueden compararse consumos de orígenes geográficos muy diversos mediante su transformación en hectáreas de superficie productiva. De lo cual se desprende que para poder transformar y comparar los resultados de HE es imprescindible el uso de dos tipos de factores de conversión (Wackernagel y Rees, 1996):

- Factor de productividad: A través de este factor se transforman los datos de consumo en superficie. Sus unidades son kg de materia productiva por hectárea y año (kg mat/ha/año). Este factor de equivalencia compara la productividad de cada área de territorio respecto a un tipo de territorio hipotético cuya

productividad biológica sea la media mundial de todos los territorios. Es decir, relaciona la productividad biológica local de un territorio con respecto a la productividad mundial de ese mismo tipo de territorio. Los factores de productividad también se utilizan en el cálculo de la biocapacidad para convertir las hectáreas disponibles en una región a hectáreas con productividad media mundial.

- **Factor de equivalencia:** Permite agregar superficies con productividades distintas y establecer comparaciones entre las huellas ecológicas de distintos países. Para ello se aplican equivalencias a cada tipo de superficie, de tal modo que cada hectárea se normaliza a superficie biológicamente productiva con una productividad igual a la media mundial, por lo que se convierte en hectárea global (hag). Gracias a este factor es habitual que se presenten los resultados en términos per cápita (hag/cap), como hemos comprobado en el apartado anterior, permitiendo establecer comparaciones entre países o regiones.

Los autores del método original (Wackernagel y Rees, 1996) consideraron aplicar el mismo indicador a varias escalas: individuos, vivienda familiar, ciudades, regiones, naciones y el mundo en su conjunto, pues aunque el consumo suele referirse al ciudadano como consumidor final, la HE es perfectamente aplicable a otros sectores.

Fortaleza y debilidades del indicador HE

Hay varios aspectos evidentes de la metodología HE que marcan sus fortalezas, tales como su simplicidad, facilidad de cálculo, y el hecho de que pueda ser comprendido y aceptado por el público en general (Weidema et al. 2008), lo que lo convierte en un indicador fácil de entender y fiable que puede influir en las decisiones de los consumidores, la legislación y la normativa (European Commission, 2003). Los principales aspectos que marcan la diferencia del método HE son el hecho de que los factores provengan de diversas fuentes y existan diferentes productividades en función del tipo de terreno.

Es el único indicar que agrega factores procedentes de diversas fuentes, normalmente los indicadores sólo dan una perspectiva general de todos los impactos dentro de una actividad o sector productivo (Bare et al. 2000), por lo que las metodologías que incluyen varios indicadores impiden la superposición de categorías de impacto (Finnveden et al. 2009). Además, la HE puede ser estudiada por categoría (en función del tipo de terreno productivo), lo que ayuda en la identificación de los aspectos más influyen en el impacto generado (Herva et al. 2008).

El análisis de la huella refleja los aumentos en la productividad de los recursos renovables (por ejemplo, si se incrementa la productividad de las tierras agrícolas, la huella de una tonelada de trigo disminuye), así como los beneficios de las innovaciones tecnológicas (por ejemplo, si la industria del papel dobla su eficiencia de producción, la huella por tonelada de papel se reduce a la mitad). El indicador HE interpreta estos cambios y determina el grado de éxito de la innovación para ayudar a la humanidad a permanecer

dentro de los límites de capacidad de los ecosistemas del Planeta. Sin embargo, el indicador HE no diferencia si se hace un uso sostenible o no de la tierra. Esta limitación se puede considerar de gran importancia, por ejemplo, si en la agricultura se realiza una explotación intensiva de la tierra esta puede alcanzar una mayor productividad, pero también puede deteriorar la productividad para las generaciones futuras por medio de empobrecimiento del suelo, plaguicidas, fertilizantes y el consumo de agua (Van den Bergh et al. 1999).

Las fortalezas y debilidades del indicador HE se pueden resumir de la siguiente manera (Galli et al. 2012):

Puntos fuertes:

- Su simplicidad de cálculo lo hacen fácilmente entendible y por lo tanto con capacidad de influenciar en los procesos decisivos.
- Proporciona una evaluación agregada de múltiples presiones antropogénicas.
- Permite una evaluación comparativa de la demanda humana de recursos renovables y de la capacidad de absorción de carbono del medio natural.

Puntos débiles:

- No se puede cubrir todos los aspectos de la sostenibilidad, tampoco puede cubrir todas las preocupaciones ambientales, especialmente aquellas para las que no hay salidas de capacidad regenerativa.
- Muestra las presiones que podrían conducir a la degradación del capital natural (por ejemplo la reducción la calidad de la tierra o de la biodiversidad), pero no para predecir esta degradación.
- No es geográficamente explícita.
- Contiene una serie de suposiciones subyacentes controvertidas, aunque éstas se han documentado.

El indicador HE tiene varias ventajas e inconvenientes; muchas revisiones han identificado deficiencias y las posibles soluciones, éstas se tratan ampliamente en el libro de Solís y Marrero (2015).

El indicador se ha utilizado desde su creación para determinar los impactos en las diferentes escalas: para predecir los impactos generados por la humanidad en el planeta Tierra o para calcular periódicamente la HE de diferentes países, ciudades, barrios, sectores productivos e industrias.

La elección de esta metodología para aplicarla a las características del sector de la construcción, se debe a su fácil comprensión, transparencia y capacidad de adaptación.

2.3. Indicador HE aplicado al sector edificación

Actualmente, la Unión Europea está financiando líneas de investigación prioritarias relativas tanto a la rehabilitación energética de edificios como al empleo de nuevos indicadores de evaluación ambiental. Así, en el Séptimo Programa Marco se financió el proyecto One Planet Economy Network (OPEN:EU) entre los años 2009 a 2011 para

establecer un marco de indicadores global a nivel ambiental. Entre los analizados se encontraba la HE, sintético en su forma pero con gran potencial de análisis en su contenido y con unas posibilidades muy altas de ser adoptados por todo tipo de público e incorporarse a todos los sectores productivos, incluido el edificatorio. Sector generalmente reacio a establecer medidas de análisis ambiental a su mecánica productiva, debe adoptarlas para poder evaluar los impactos ambientales que los proyectos generan.

En el área de la edificación, el indicador HE se ha aplicado a diversos estudio de casos: edificios de gran altura en Tehran (Samadpour y Faryadi, 2008), viviendas de campesinos (Zhao y Mao, 2013), hoteles (Li y Cheng, 2010), y la rehabilitación de una casa centenaria (Bin y Parker, 2012.), además de haberse desarrollado una herramienta para la estimación de la HE y huella de carbono de edificios (Olgay, 2008). Teng y Wu (2014) analizaron el ciclo de vida de los edificios (proyecto, ejecución, uso y demolición) y su estudio según HE (energía, recursos, CO₂ y residuos sólidos), aplicándolo a un centro de exposiciones en Wuhan (China).

Destacan otros dos estudios que han adaptado el indicador HE a las particularidades del sector de la edificación: Bastianoni et al. (2007) calcularon la HE de dos edificios italianos, teniendo en cuenta principalmente la energía incorporada en los materiales y en el proceso de construcción. Solís-Guzmán (2011) en su tesis doctoral titulada: "*Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la comunidad andaluza*" (premio extraordinario de doctorado 2012 de la Universidad de Sevilla), desarrolla las herramientas que permiten evaluar los impactos generados durante la ejecución de las obras de edificación con algunas hipótesis innovadoras, tales como incluir el consumo de comida y los traslados de los operarios, o el consumo de agua en la obra, el cual no suele aparecer en los estudios de HE ya que no está incluido en la metodología general del indicador. Con la inclusión de los alimentos aparecen huellas adicionales asociadas a terrenos de cultivo, pastos y pesca. Esta estructura de HE para nueva edificación es la base del presente estudio de viabilidad ambiental, mediante una serie de variaciones y aportaciones para adaptarlo el caso específico de la recuperación de edificios.

Los investigadores del grupo Arditec, en cuyo seno se desarrolla la presente tesis doctoral, realizan su trabajo en el ámbito de la arquitectura, ingeniería y medio ambiente, lo que les permite afrontar el reto de ampliar el modelo del indicador HE para ser aplicado el ciclo de vida completo del edificio. Esto es posible gracias a la capacidad de reproducción del modelo en las diferentes fases del ciclo de vida, desde la fase de transformación de uso del suelo (urbanización) (Freire y Marrero, 2015). La fase de construcción del edificio, que produce un consumo más intensivo concentrado en un corto periodo de tiempo (1-2 años), las decisiones tomadas durante esta etapa influirán en gran medida en el resto de fases del ciclo de vida del edificio (González-Vallejo, 2015). La fase de uso y mantenimiento es la que mayor consumo de energía tiene en todo el ciclo, su larga duración (más de 50 años) hace que reducir el consumo de energía operacional sea la principal meta a alcanzar, para lo cual es necesario que las decisiones

en la fase de diseño optimicen los consumos, limpieza y mantenimiento (Martínez-Rocamora et al. 2016a). Cierra el ciclo la fase de recuperación o demolición del edificio, cuyo impacto ambiental se prevé más reducido que en las fases anteriores, siendo interesante resaltar su influencia en la biocapacidad de la parcela, así como su relación con otras etapas del ciclo de vida del edificio, esta fase es la que se desarrolla en la presente tesis doctoral.

Para el caso de la huella ecológica, las potencialidades del empleo del indicador en el sector edificatorio serían:

- Determinación de los impactos ambientales de los proyectos analizados: consumo de recursos (materiales y energéticos) y generación de residuos.
- Determinación de la superficie productiva equivalente consumida.
- Para el análisis de la recuperación de edificios, poder determinar una comparativa a nivel de superficie productiva consumida y del empleo de recursos materiales y energéticos entre la obra de demolición y la posterior nueva construcción y la obra de recuperación.
- Implementación de herramientas para toma de decisiones en actuaciones prioritarias de rehabilitación de barrios.

Como ya se ha puntualizado, originariamente la metodología de HE se calculaba para sociedades o personas individuales, en la huella de una persona o sociedad están incluidos los impactos causados por la construcción de los edificios. En el estudio desarrollado en la presente tesis, se aísla la HE de recuperación del edificio del resto de componentes de la HE de las personas, y se define un modelo de cálculo capaz de cuantificarla con la máxima precisión gracias al profundo estudio del sector de la edificación.

A la hora de aplicar el indicador HE es imprescindible conocer los consumos de recursos que se realizan, afortunadamente, en las obras de edificación dichos consumos se encuentran perfectamente cuantificados en el presupuesto, el desarrollo del modelo de HE en edificación se centra especialmente en la medición de la cantidad de las unidades ejecutadas a partir de su descomposición tradicional (Solís y Marrero, 2015): materiales, mano de obra y maquinaria, ya que estos son los elementos definen la HE en edificación.

Para la aplicación de la metodología del cálculo de HE que se expone a continuación, es condición indispensable disponer del presupuesto ajustado según un sistema de clasificación determinado (González Vallejo, 2015a y 2015b), en nuestro caso, como se desarrollará en el siguiente apartado referido al aspecto económico, se emplea el BCCA, por ser una base que lleva desarrollándose durante los últimos veinticinco años en Andalucía, de obligado cumplimiento en proyectos ejecutados por la administración andaluza. En ella se desarrolla una estructura de costes clara, clasificando los precios básicos en función de los recursos básicos.

La estructura de partida del modelo para cálculo de HE para edificación se recoge en la figura 2.4, en ella pueden apreciarse los diferentes conceptos clasificados en varios

niveles: fuentes de impacto, recursos, elementos intermedios y huellas (González Vallejo, 2015b).

Las fuentes de impacto sobre el territorio se agrupan en función de cómo se obtienen, a través del presupuesto y mediciones del proyecto analizado o a través de los datos generales del mismo.

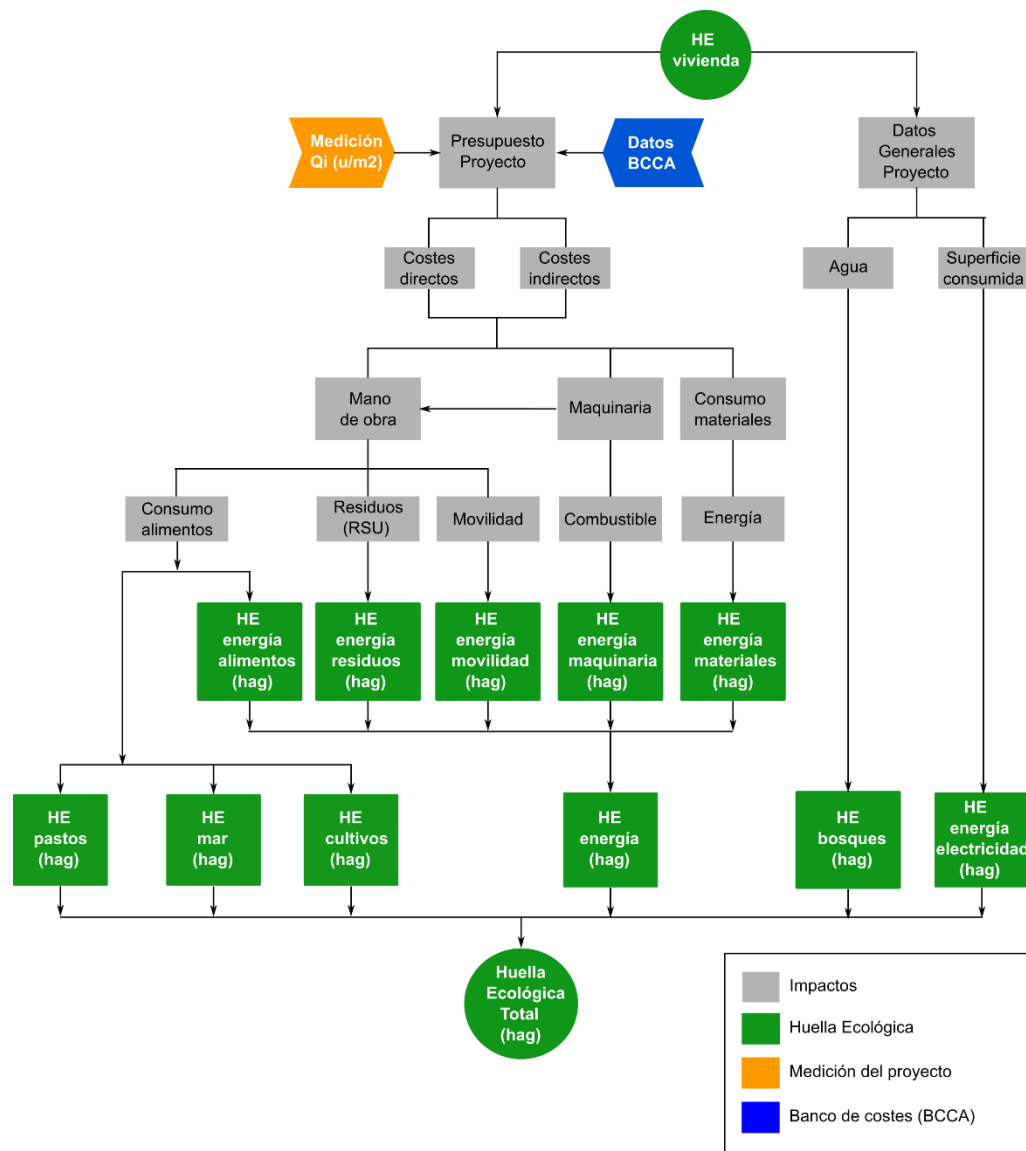


Figura 2.4: Estructura del modelo de HE para edificación (González-Vallejo et al. 2015b)

En el primer caso, el presupuesto descompone estos impactos según las mediciones de cada proyecto, estos están estructurados según la clasificación sistemática del BCCA (2014), conociendo así los descompuestos de cada una de las partidas y los rendimientos y cantidades de recursos empleados. Si cruzamos estos datos con los de las mediciones

del proyecto obtenemos una nueva base de datos, denominada Banco de Cuantificación de Recursos (BCRR), generada a partir del desglose de materiales, mano de obra y maquinaria cuantificados en la medición, recursos básicos que, cómo se especifica en el procedimiento de cálculo del indicador HE aplicado a edificación, definen la huella generada en el proceso constructivo (González Vallejo et al. 2015b). Mediante la aplicación directa de la metodología de cálculo (Solís-Guzmán, 2011), a la cantidad de elementos básicos totales de mano de obra (horas), materiales (unidades correspondientes) y maquinaria (horas) extraídas del BCRR se obtienen las HE parciales. Cada uno de estos elementos básicos supone el empleo de unos determinados recursos o de residuos, lo que permite evaluar esos impactos desde el punto de vista de la HE. El consumo de mano de obra genera, por un lado, gasto de alimentos por parte de los operarios, y la subsecuente generación de residuos sólidos urbanos (RSU). Por su parte, los materiales de construcción, a través de los procesos de extracción, fabricación, transporte y puesta en obra, consumen combustible (transporte de los materiales a la obra) o energía (necesaria para la fabricación de los materiales y su puesta en obra). Para el análisis de la huella de los materiales se realiza el estudio cuantitativo de los materiales de construcción y cómo se traduce esa cantidad en recursos expresables en términos de HE. Igualmente, la maquinaria empleada en la obra consume combustible o electricidad, según la tipología de maquinaria considerada.

En el segundo caso están aquellos impactos definidos a través de los datos generales del proyecto, son los que no se obtienen a partir de las mediciones del mismo, los más importantes son el consumo eléctrico y de agua durante la obra. Éstos nos permiten finalmente calcular la HE de la ejecución del edificio estudiado (González Vallejo et al. 2015b).

Para la obtención de las huellas parciales y totales se emplean coeficientes de transformación. Cada tipo de consumo requiere un coeficiente de transformación distinto, empleándose desde factores de emisión y absorción, hasta factores de productividad y equivalencia, los factores de equivalencia convierten los resultados de (ha) a hectáreas globales (hag) (Tabla 2.1), permitiendo que los resultados obtenidos sean comparables. Cada HE parcial requerirá coeficientes y factores distintos.

Área productiva	FE (hag /ha)
Fósil	1,26
Cultivos	2,51
Bosques	1,26
Pastos	0,46
Mar	0,37
Suelo edificado	2,51

Tabla 2.1. Factores de equivalencia (Ewing et al. 2010)

Como se ha especificado anteriormente, para la huella de la mano de obra se obtiene: por un lado, la huella de alimentación, para ello se emplea los factores de productividad natural, distinguiendo las huellas ocasionadas sobre los distintos tipos de superficies

consumidas: pastos, cultivo y mar, así como el número total de horas trabajadas a través del BCRR. Y por otro los RSU producidos por los trabajadores, que se obtienen de datos estadísticos (EUROSTAT, 2015) que establecen la cantidad media de generación de RSU por trabajador, con este dato aplicado al total de horas trabajadas cuantificadas en el BCRR y al factor de emisiones de los RSU se obtiene la HE de los trabajadores.

Para el cálculo de la HE producida por los materiales de construcción se tiene en cuenta las emisiones de CO₂ generadas por el material, abarcando parte de su ciclo de vida, concretamente se considera las emisiones generadas por la energía incorporada para su fabricación, las producidas en el transporte desde la fábrica o polvero hasta la obra analizada y las emisiones de la energía requerida en su implantación, así como los consumos de los materiales extraídos del BCRR, expresándose en kilos de CO₂ por kilo de material (kg CO₂/kg). Estos factor de emisión se obtienen de la misma fuente, la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent database, 2015) (Martínez-Rocamora et al. 2016b).

En el caso del cálculo de la huella de la maquinaria se requiere el número de horas de maquinaria empleada (BCRR), así como el consumo y la intensidad energética de la misma, lo cual aplicado al factor de productividad energética, que depende del tipo de combustible empleado, proporciona la HE derivada de la maquinaria.

Los cálculos específicos, para ahondar más en las huellas parciales arriba indicadas, así como en las huellas parciales de consumo eléctrico y agua procedentes de los datos generales y finalmente la huella total, se describirán en el desarrollo metodológico de la presente tesis.

En definitiva, el modelo de cálculo de HE (Fig. 2.4), determina la huella ecológica total, que a su vez se define a partir de diferentes huellas parciales: de la energía (fósil), pastos, mar, cultivos y bosques. Éstas provienen de los impactos generados por los recursos, la energía y la generación de emisiones de CO₂ y residuos. En particular para edificación los impactos son: consumo de electricidad y agua durante la obra, consumo de alimentos de la mano de obra, materiales de construcción, residuos de demolición y construcción (RCD) y los sólidos urbanos (RSU).

Por tanto, con los datos de las mediciones y datos generales de cada proyecto, datos auxiliares para el cálculo de las HE parciales y desarrollo de hipótesis complementarias pueden calcularse las huellas parciales y a partir de ahí la HE total.

3. Aspectos económicos

Con el objeto de obtener un modelo con una estructura lo suficientemente estable y consolidada que no deje lugar a duda de su fiabilidad, se toma la determinación de recurrir a instrumentos adecuados que aseguren una toma de decisiones eficaz, ordenada y con garantías (Marrero, Ramirez-de-Arellano, 2010). Es en este marco donde encontramos los sistemas de clasificación de la información de construcción (SCIC) que tienen objetivos y metodologías similares. El concepto básico en todos estos sistemas es dividir un problema complejo en partes más simples que luego pueden ser agregadas

para definir el desarrollo completo de la obra de construcción. Muchos investigadores han estado trabajando en el desarrollo de SCIC, entre los que destacamos: MasterFormat (2014), Uniformat™ (2010), incorporado al estándar ISO (2001), Uniclass (2015) y OmniClass (2016).

Las bases de costes de la construcción en España, que facilitan la elaboración de presupuestos de proyectos de edificación, poseen sus propios SCIC, y su mayor ámbito de implantación suele ser su entorno geográfico, por ejemplo; PREOC en Madrid, ITEC en Cataluña, CYPE en Alicante, BPCM de Madrid, BDC-IVE en Valencia, BDEU en el País Vasco, PRECIOCENTRO de Guadalajara y el BCCA en Andalucía (Freire y Marrero. 2015).

Las bases se plantean como el vehículo ideal para cuantificar no solo el coste económico sino también el ambiental, funcionando a la vez como elemento integrador debido a su descomposición y jerarquía de precios que posibilita introducir un proceso estandarizado. Está demostrado que una causa importante de deterioro medioambiental es el consumo de energía en la fabricación de productos y materiales necesarios para la construcción y para el desarrollo económico en líneas generales, por ello, la valoración y limitación del coste energético en el desarrollo de un proyecto de edificación se perfila como un elemento indispensable (Freire et al. 2014). La utilización de las bases de costes en los proyectos de edificación deben facilitar la obtención de forma automática del coste energético y de emisiones de CO₂, además del monetario, lo que facilitaría la toma de decisiones en la mejora de cada proyecto de edificación desde el punto de vista medioambiental, a la vez que se podría llegar a alcanzar objetivos diferenciadores y cuantificables respecto a otros proyectos (Freire y Marrero, 2015). En esta línea trabaja la base del ITEC que ya incorpora la energía, las emisiones de CO₂ y cuantifica los residuos de construcción (ITEC, 2016).

3.1. Modelo de clasificación y presupuestación en edificación (BCCA)

Debido al entorno geográfico donde se centra el estudio de caso desarrollado en la presente tesis, el sistema de clasificación empleado es la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (en adelante BCCA) (2013). La BCCA es un sistema de ordenación y clasificación de las unidades de obra flexible y adaptable, lo que permite la incorporación de cambio de gran importancia como ha sido la incorporación de la gestión de residuos (Marrero et al. 2011) o la incorporación de un nuevo subcapítulo de recuperación (BCCA, 2013), de gran importancia en este trabajo, donde se pueden incluir los precios complejos elaborados para la valoración económica de recuperación de edificios.

En este punto se descompone y explica detalladamente la clasificación sistemática del BCCA, así como el modelo de presupuestación, imprescindible en el desarrollo de la presente tesis, ya que se despliega en una estructura de costes clara, clasificando los precios básicos en función de los recursos ya mencionados (materiales, maquinaria y mano de obra).

Filosofía del modelo de referencia

La fortaleza en la que sustenta el sistema de clasificación desarrollado en el BCCA y gracias a la cual se ha conseguido la vigencia del modelo durante más de veinticinco años, no es otra que la de trasladar al mundo de la presupuestación una técnica empleada por el ser humano de forma natural, que consiste en dividir los grandes problemas de difícil solución global, en pequeñas partes fácilmente abordables para realizar, después del correcto tratamiento de cada una de ellas, un proceso de agregación de los resultados obtenidos (ver Fig. 2.5).

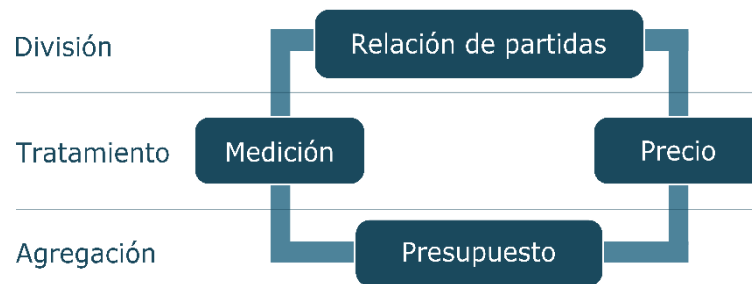


Figura 2.5. Célula básica del proceso de presupuestación (Ramírez de Arellano, 2004)

Por lo que el modelo de referencia podemos sintetizarlo en tres pasos, el primer paso consiste en dividir la obra en tamaños adecuados a los medios disponibles (unidades de obra), el segundo paso consiste en el tratamiento económico mediante la aplicación de un precio a la medición de la cantidad de cada unidad de obra y tercer y último paso, realizar la agregación final de los importes. Siguiendo este razonamiento, la secuencia completa trazada por el modelo de presupuestación tradicional parte de la división de la obra en lo que se conoce como unidades de obra, que son el conjunto de recursos (materiales, maquinaria y mano de obra) necesarios para construir un todo indivisible que queda integrado en la obra de construcción y que constituye la parte más pequeña en la que queda dividida la misma en el presupuesto. Cada una de estas unidades de obra deben quedar definidas tanto a nivel constructivo como en su forma de ejecución a través de los epígrafes. Estos epígrafes forman parte de los precios correspondientes a cada unidad de obra. Elaborado el precio unitario, este se aplica sobre la medición de la cantidad con la que la unidad de obra interviene en el proyecto. Mediante la agregación de estos importes resultantes de la aplicación del precio a la medición en conjuntos homogéneos se obtienen los capítulos de obra. La suma de los importes de todos los capítulos da como resultado el importe de ejecución material (IEM) (ver Fig. 2.6).

Estructura de costes

Para poder entender con mayor claridad el modelo de referencia, se hace indispensable exponer que se basa en una estructura de costes arborescente y jerarquizada con niveles claramente definidos, en los que desde el vértice de la jerarquía se desciende hacia los niveles inferiores, fraccionando cada grupo en subgrupos de características

homogéneas. En sentido inverso, el ascenso desde los niveles inferiores hasta los grupos superiores, se consigue mediante la agregación de los importes de todos los subgrupos de nivel inferior pertenecientes a cada grupo (Fig. 2.6).

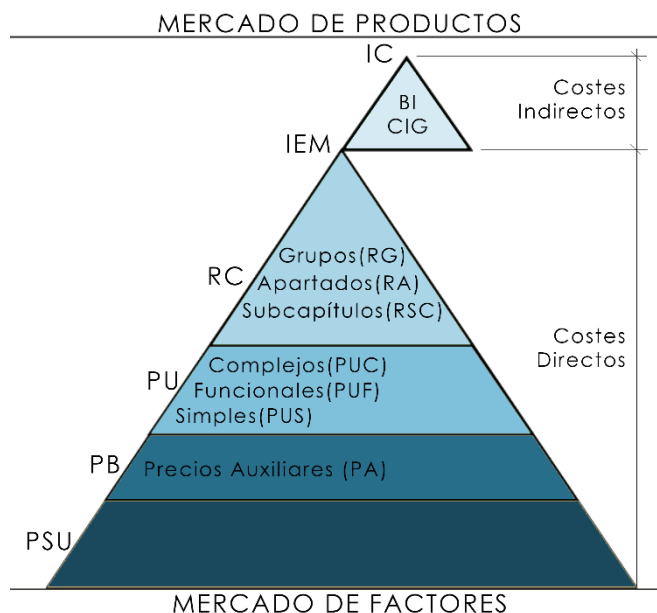


Figura 2.6. Niveles Básicos de la estructura de costes (Ramírez de Arellano, 2004)

Formando la base de la pirámide se encuentran los precios de suministro, que conectan directamente al sistema con los mercados de factores: mano de obra, materiales, maquinaria, etc. En el vértice de la estructura se sitúan los importes de contrata, que enlazan la información de carácter económico con los mercados de productos: edificios residenciales, oficinas, centros docentes, etc. La estructura se completa intercalando entre los extremos, dependiendo del grado de detalle buscado, los niveles intermedios con mayor o menor desarrollo:

- Precio de suministro (PSU): coste por unidad de un elemento básico, es decir, un elemento constructivo que se refiere a cada uno de los recursos: mano de obra, materiales y maquinaria, que interviene en la formación de un elemento auxiliar o en una unidad de obra, de acuerdo con las condiciones de compra.
- Precios básicos (PB): coste por unidad de un elemento básico en condiciones de ser aplicado en obra.
 - Precios auxiliares (PA): coste por unidad de una combinación de elementos básicos en proporciones constantes, que interviene como componente en el cálculo del precio de una unidad de obra.
- Precios unitarios (PU): precio por unidad de un elemento, ya sea simple, complejo o funcional:
 - Precio unitario simple (PUS): el precio corresponde a un elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos o auxiliares que configuran

una unidad de obra realizada por un mismo grupo de especialistas.

· Precio unitario complejo (PUC): el precio corresponde a un elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos, auxiliares y unitarios que configuran una unidad de obra realizada por uno o varios grupos de especialistas.

· Precio unitario funcional (PUF): el precio corresponde a un elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos, auxiliares y unitarios que constituyen un conjunto constructivo con una función completa dentro de la obra.

- Resumen de capítulos (RC): la filosofía general expuesta basada en la división de la obra en unidades fácilmente abarcables, establece una clasificación sistemática que permite en todo momento tener localizada la unidad de obra. Para ello, las unidades deben estar englobadas en grandes grupos de elementos de características comunes denominados capítulos (Cimentación, Estructuras, Instalaciones, etc.). Cada capítulo está compuesto de subcapítulos (el capítulo Cimentación los componen los subcapítulos de Armaduras, Cimentaciones especiales, Hormigones, etc.), y a su vez dentro de cada subcapítulo encontramos los apartados (el subcapítulo Hormigones cuenta con los apartados Hormigones para armar o en Masa) y grupos (el apartado H. para Armar se subdivide en arriostramientos, zapatas, etc.). Cada elemento de esta clasificación lleva asociada una codificación, permitiendo así tener correctamente ubicada a la unidad de obra dentro del presupuesto en todo momento (Tabla 2.2). Mediante la agregación de las unidades de obra que constituyen cada capítulo se obtiene el resumen de capítulos.

	SUBCAPÍTULOS	APARTADOS	GRUPOS		
Capítulo 03: Cimentaciones	03A. ARMADURAS	03AC. Barras corrugadas	03ACC. Barras corrugadas 03ACW. Varios		
		03AL. Barras lisas	03ALL. Barras lisas 03ALW. Varios		
		03AM. Mallas electrosoldadas	03AMM. Mallas electrosoldadas 03AMW. Varios		
	03C. CIMENTACIONES ESPECIALES	03CC. Consolidaciones		03CCI. Inyecciones 03CCJ. Jet-grouting 03CCV. Vibroflotación 03CCW. Varios	
			03CM. Muros pantalla	03CMM. Muros pantalla 03CMW. Varios	
			03CP. Pilotes	03CPP. Prefabricados 03CPS. In situ 03CPW. Varios	
		03CT. Micropilotes	03CTS. In situ 03CTW. Varios		
		03CW. Varios	03CWW. Varios		
		03H. HORMIGONES	03HA. Para armar		03HAA. Arriostramientos 03HAL. Losas 03HAM. Muros 03HAW. Varios
				03HM. En masa	03HMM. En masa 03HMW. Varios
	03HR. Armados			03HRA. Arriostramientos 03HRL. Losas 03HRM. Muros 03HRW. Varios 03HRZ. Zapatas	

Tabla 2.2. Fragmento de tabla de la clasificación sistemática (BCCA, 2014)

- Importe de ejecución material (IEM): importe esperado de los costes de producción de todas las tareas necesarias para ejecutar la obra proyectada.
- Importe de contrata (IC): es el resultado de agregar al IEM los costes indirectos generales (CIG) derivados del contrato así como de la estructura de la empresa y los beneficios industriales (BI) esperados por el constructor como pago de su actividad empresarial. De esto se desprende que la estructura de costes se divide en dos partes (Fig. 2.6), en función de la forma de imputación de los costes. Por un lado están los costes directos, que son aquellos en los que la asignación se realiza mediante la aplicación del precio a la cantidad con la que ese componente interviene en el coste (medición). Y por otro están los costes indirectos, que se asignan mediante la aplicación de un valor relativo (porcentaje) respecto a otro de referencia.

En todo proceso con relaciones endógenas y exógenas, como es el caso del proceso productivo que es la obra de edificación, es necesario que la estructura asegure la coherencia, empleando esquemas simples, repetitivos, que garanticen el destino y la procedencia de todas las relaciones, requisitos que cumple el modelo tradicional de presupuestación y que son el motivo de su larga vigencia y continuo desarrollo.

Formas de imputación

Como ya se ha indicado la imputación en el presupuesto puede realizarse por vía directa, mediante la aplicación del precio a la cantidad o por vía indirecta, por incremento mediante porcentaje sobre los costes directos.

Costes directos de ejecución (CDE)

Se tratan como costes directos de ejecución todos los gastos relativos a materiales, mano de obra y maquinaria que intervengan en la ejecución de unidades de obra concretas y sean imputables directamente a las mismas, por lo que estos costes se obtienen por aplicación del precio a los rendimientos y cantidades que se empleen en cada unidad de obra. A continuación se especifican los conceptos imputables de manera directa (Ramírez de Arellano, 2004):

- Materiales: se integran mediante aplicación de los precios a las cantidades en las que participan en la unidad de obra, incrementándose los consumos en concepto de pérdidas, roturas y mermas. Cuando se trate de materiales con más de una posible utilización, se imputará en cada uso la parte proporcional que corresponda.
- Maquinaria de producción directa: se incluyen en este apartado las maquinarias que intervengan de forma directa en la ejecución de unidades concretas. En el caso de maquinaria que requiera un operador especializado, el coste del maquinista se incluye como parte del precio.
- Mano de obra de producción directa: se incluyen en este concepto la mano de obra que lleve a cabo directamente la ejecución de las unidades de obra.

Costes indirectos de ejecución (CIE)

Se refiere a aquellos costes que no son imputables directamente a una única unidad de obra, sino al conjunto o parte de la obra completa. Estos costes indirectos se cifran en un porcentaje de los costes directos, que debe ser igual para todas las unidades de obra del proyecto. Dependerá en cada caso de la tipología de obra (nueva planta, recuperación...), del presupuesto, de la organización de los trabajos y del plazo de ejecución. Los conceptos imputables de manera indirecta se clasifican en (Ramírez de Arellano, 2004):

- Mano de obra indirecta: personal que sólo interviene en la ejecución de las unidades de obra realizando tareas de control organización, distribución y vigilancia.
- Medios auxiliares: conjunto de medios humanos, materiales y maquinaria que aunque no intervengan directamente en la ejecución ni formen parte directamente de una unidad de obra, son necesarios para su realización. Entre estos se encuentran:
 - Mano de obra auxiliar: personal que realiza funciones de transporte interno, elevación, montaje, retirada, limpieza, etc.
 - Materiales auxiliares: pequeñas cantidades de materiales que se utilizan en la ejecución de unidades de obra que se retiran una vez concluida, por lo que no forman parte de ellas.
 - Maquinaria, útiles y herramientas: cuando estas participen en la ejecución de diversas unidades de obra.
- Instalaciones accesorias y complementarias: acometidas provisionales de agua, electricidad, teléfono, etc., así como las instalaciones desde las acometidas hasta los diversos puntos de consumo durante la ejecución de las obras y las construcciones provisionales para talleres, almacenes, oficinas, etc., las cuales se desmontan o eliminan según vayan terminándose los trabajos.
- Personal técnico y administrativo: técnicos y personal administrativo que esté adscrito permanentemente a la obra.
- Varios: Gastos fungibles y otros consumos imputables a la actividad de las oficinas y almacenes de obra.
- Generados por la seguridad y salud: sólo figura de forma expresa cuando, por las características de la obra no sea aplicable la legislación que obliga a realizar estudios de seguridad y salud. En este caso se incluirán los costes derivados de la medicina preventiva, la formación específica de los trabajadores, el personal de seguridad y salud de la obra, locales y servicios, la seguridad colectiva e individual y la señalización.

Obtenidos los costes directos e indirectos de ejecución, mediante su agregación resultan los costes de ejecución totales que componen los precios unitarios.

Estructura de precios

El modelo desarrollado exige que el proceso de cálculo se inicie con la correcta descripción de cada unidad de obra que componga el presupuesto. Para ello es indispensable especificar en primer lugar la unidad de medida más adecuada a sus características geométricas y físicas, el nombre resumido habitual con el que se conoce al elemento, una descripción clara, completa y resumida, las inclusiones de aquellos elementos complementarios que acompañen al elemento constructivo principal, la normativa de referencia, instrucciones o sistemas constructivos que completen la definición y el criterio de medición con el que se mide la unidad de obra. Toda esta información va recogida en el epígrafe del precio unitario (Ramírez de Arellano, 2004).

Definida la unidad constructiva, el cálculo del precio continúa con la obtención de cada uno de los factores que la componen: los precios de suministro (PSU) con los precios de compra y los precios básicos (PB) de los elementos puestos en obra y descargados en el lugar de acopio. Seguidamente se calculan los precios auxiliares (PA), como conjunto de PB con posibilidades de utilización en diversas unidades de obra, estos precios permiten simplificar considerablemente el trabajo de redacción de los precios unitarios. Por último, se aplican los PB y PA a las cantidades de los componentes ya cuantificados, obteniéndose así el total de los costes directos de cada elemento unitario, que incrementados por los costes indirectos, mediante aplicación del porcentaje adecuado en función de las características de la obra, resulta el precio unitario simple (PUS).

El cálculo de los precios unitarios complejos (PUC) y funcionales (PUF) pertenecen a un estrato más avanzado del modelo, se obtienen mediante la agregación de los importes resultantes de aplicar los precios unitarios, básicos y auxiliares a las cantidades de componentes de unidades de obra complejas o funcionales.

Llegados a este punto es necesario reseñar que las obras de recuperación encierran un elevado número de particularidades e imprevistos, mucho mayores que las obras de nueva planta, sujetas estas últimas a mayor homogeneidades en los procesos. Esto se traduce en que los precios relativos a obras de edificación de nueva planta pueden ser utilizados en una banda de situaciones bastante amplia, pero no ocurre igual con los precios de obras de rehabilitación que, por sus peculiaridades requieren un tratamiento, no sólo de cada obra en particular, sino de cada unidad de obra específica, siendo necesario por tanto elaborar precios que sean capaces de acoger esta mayor complejidad en su definición. Por ello la base de precios de recuperación desarrollada en la presente tesis se ha resuelto mediante la creación de precios unitarios complejos (PUC), que reúnen los procedimientos de ejecución y las actividades necesarias para realizar los distintos trabajos que conllevan las unidades de obra consideradas. Los procedimientos de ejecución y las actividades, que se convierten en partes indispensables de la unidad de obra, se integran en la valoración económica como precios unitarios simples descompuestos.

El contenido de los PUC, situados en los niveles más elevados de la estructura de costes,

se asemeja a la agrupación de actividades que realizan los estándares internacionales anteriormente citados (Uniformat™ (2010), ISO (2001), Uniclass (2015)).

Para la creación de estos PUC, siempre que ha sido posible, se han empleado precios unitarios simples de obras de nueva planta existentes en el BCCA, reflejando en el PUC la variación que supone la diferencia de rendimientos de mano de obra por una mayor dificultad de los trabajos.

Etapa 2: Objetivos, metodología y desarrollo

OBJETIVOS

OBJETIVOS

Para actuar con las máximas garantías de éxito ante la difícil decisión de recuperar o demoler el edificio, se plantea la creación de un modelo que permita evaluar objetivamente el elevado número de variables técnicas, económicas y ambientales que forman parte del proceso de decisión.

Se propone el desarrollo de una metodología a partir de la aplicación del indicador huella ecológica, que permita conocer la viabilidad ambiental de la recuperación de edificios frente a su demolición y posterior nueva construcción, de manera que sea posible prever las emisiones generadas y los recursos naturales empleados en términos de huella. Ya que cada proyecto provocará un empleo de recursos materiales y energéticos y una generación de diversos tipos de residuos y emisiones; el modelo plantea la posibilidad de conocer el impacto ambiental del proyecto objeto de estudio de manera rápida y con total fiabilidad de los resultados.

Del objetivo principal de la tesis: *diseñar e implementar un modelo de evaluación que permita analizar técnica, económica y ambientalmente la viabilidad de la recuperación del edificio*, se desprenden otros objetivos de menor rango, pero de igual importancia ya que sin estos no sería posible la consecución del objetivo principal:

- Análisis del estado actual de la recuperación. Se realiza un análisis de mercado de las edificaciones en fase de recuperación así como la identificación de la tipología edificatoria más representativa en la ciudad de Sevilla, datos de vital importancia para proceder con el desarrollo de los objetivos siguientes.
- Análisis integral de costes económicos y ambientales. Se analizan el coste económico de la recuperación, así como el coste ambiental a través de la metodología huella ecológica para edificación, obteniendo un procedimiento integrador que permite la evaluación de todos los costes que constituyen el proceso edificatorio: implantación, ejecución, recuperación, demolición y nueva construcción.
- Aplicación del modelo. Se establece en esta fase el estudio de casos reales de recuperación de edificios para el cotejo de experiencias previas en la recuperación de edificios, analizándose como caso de estudio el proyecto de recuperación del edificio de viviendas de la denominada “Barriada Renfe”, situado en el Distrito Macarena de la ciudad de Sevilla.
- Como fase final se plantea la validación del modelo de cálculo mediante su aplicación a una muestra de edificios dentro del mercado de las edificaciones susceptibles de sufrir una recuperación. Con esto se pretende analizar la sensibilidad del modelo de evaluación desarrollado, además de comprobar la adecuada integración de los costes económicos y ambientales que permiten el análisis integral de costes que se pretende.

Estos objetivos se llevarán a cabo según el mapa metodológico desarrollado en el siguiente apartado.

A largo plazo, los objetivos van encaminados al empleo del modelo de evaluación desde el punto de vista de la planificación urbanística, para establecer políticas que permitan fomentar las actuaciones de recuperación en barrios o zonas degradadas, siempre desde la perspectiva integral (análisis técnico, económico y ambiental).

Etapa 2: Objetivos, metodología y desarrollo

Mapa metodológico

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

Mapa metodológico

Para dar respuesta a los objetivos expuestos en el apartado anterior, se propone la creación de un mapa metodológico con una estructura ordenada, capaz de dividir el desarrollo del modelo en tres fases bien diferenciadas y a su vez subdividir cada fase en cuatro niveles jerárquicos, atendiendo a la prioridad temporal de su consecución. Como puede observarse en la figura 3.1, donde se esquematiza el mapa metodológico desarrollado, las tres grandes fases en la que se divide son:

- Fase 1: Estado actual de edificios en fase de recuperación
- Fase 2: Análisis integral de costes
- Fase 3: Validación del modelo

Los cuatro niveles jerárquicos en los que se subdivide cada una de estas fases avanzan por cada una necesariamente en este orden:

- Nivel 1 (N1): Inicio de fase
- Nivel 2 (N2): Herramientas a emplear
- Nivel 3 (N3): Resultados de cada fase
- Nivel 4 (N4): Resultado final

El contenido de las tres fases enunciadas, así como de los niveles de cada fase, son los que a continuación se describen y en los que se profundizará en los siguientes apartados durante el desarrollo del modelo propuesto.

Fase 1: Estado actual de edificios en fase de recuperación

En el inicio (N1) de esta primera fase se evalúa el estado actual de la recuperación de edificios a través de un análisis de mercado de las edificaciones susceptibles de sufrir una recuperación, usando para ello un tamaño de muestra de en torno a 250 edificaciones situadas en el casco histórico de la ciudad de Sevilla. Las herramientas empleadas (N2) en esta fase son, la base de datos de la sede electrónica del Catastro, de donde se obtiene la información general de cada edificio analizado, una hoja de cálculo donde organizar toda la información obtenida y por último un programa de procesamiento geoespacial SIG, gracias al cual se consigue geolocalizar toda la información.

Como resultado (N3) de este estudio previo se consigue identificar edificios reales de los que obtener indicadores que permitan generar un procedimiento innovador para evaluar e integrar todos los impactos, así como la identificación de la tipología edificatoria más representativa en la ciudad de Sevilla.

Fase 2: Análisis integral de costes

Al tenerse en cuenta todos los costes económicos y ambientales derivados del proceso edificatorio (N1), incluidos los de planificación, recuperación y/o demolición-nueva construcción, en esta fase se cuentan con herramientas (N2) robustas y fiables que permiten una correcta valoración y estructuración de estos escenarios de gestión y actuación:

- Modelo de clasificación sistemática en la edificación (BCCA)
- Indicador huella ecológica (HE) aplicado a edificación

La primera de ellas (BCCA) es clave para la creación de la base de costes de recuperación (BCCR) que es el punto de partida del modelo de viabilidad. La segunda (HE) se desarrolla y aplica para el caso concreto de recuperación de edificios. La integración de ambas se consigue a través del Banco de Cuantificación de Recurso (BCRR), obteniéndose como resultado de esta fase (N3) el modelo de viabilidad que permite realizar el análisis de costes que integra, tal como hemos venido puntualizando en los apartados anteriores, no solo los costes económicos en los supuestos de recuperación y/o de demolición y nueva construcción de edificios, sino los costes ambientales a través del modelo de huella ecológica y apoyado en las herramientas reseñadas. De esta manera se realiza la cuantificación de ambos costes, pudiendo decidirse de forma objetiva si la opción de la recuperación es o no la más coherente.

Fase 3: Validación del modelo de evaluación

La validación del modelo de evaluación se realiza en dos partes, en primer lugar, previa descripción detallada del estudio de caso de experiencias previas en la recuperación de edificios (N1), se aplica el modelo de viabilidad económica y ambiental de la recuperación de edificio (VEARE) (N2), concretamente se aplica sobre el proyecto de recuperación del edificio de viviendas de la denominada “Barriada RENFE”, situado en el Distrito Macarena de la ciudad de Sevilla.

Y en segundo lugar, se detalla el estado patológico de la muestra de edificios sobre los que se aplica el modelo de viabilidad (N3), con el objetivo de analizar su sensibilidad ante cambios en las soluciones constructivas, materiales empleados así como en la gravedad o niveles patológicos.

En el cuarto y último de los niveles jerárquicos, como resultado final (N4) tras la consecución de las tres fases descritas, se obtiene el modelo de viabilidad económica y ambiental de recuperación de edificios, cumpliéndose así el objetivo principal de la tesis, la implementación de un modelo para la toma de decisiones respecto a la viabilidad de la recuperación del edificio.

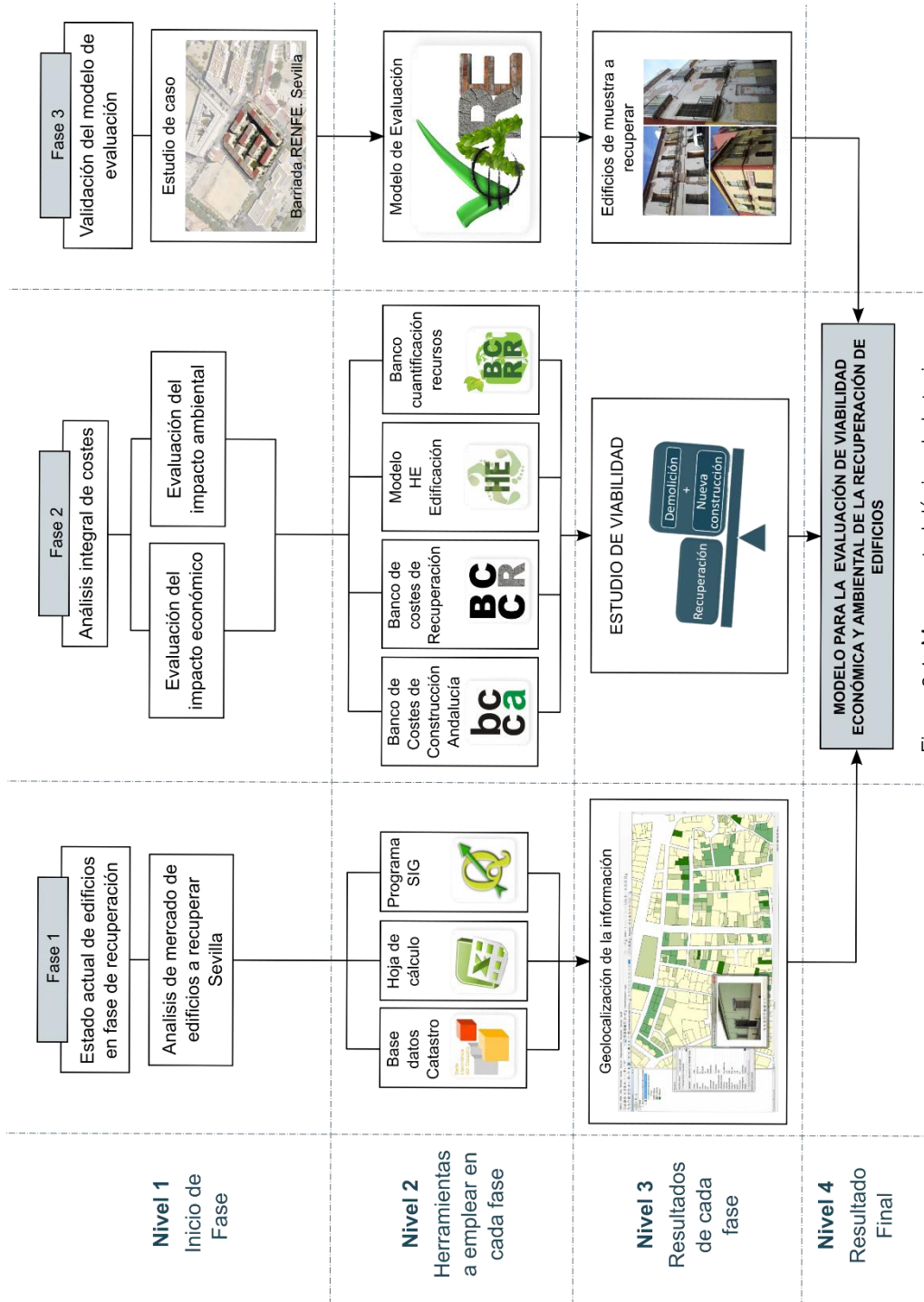


Figura 3.1: Mapa metodológico de la tesis

Etapa 2: Objetivos, metodología y desarrollo

Fase 1: Estado actual de edificios en fase de recuperación

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

4. Fase 1: Estado actual de edificios en fase de recuperación

Para la obtención del modelo, esta primera fase pretende poner en conocimiento el mercado de edificios que actualmente son susceptibles de sufrir rehabilitación debido a su mal estado de conservación. El objeto de este estudio previo no es otro que el de identificar edificios reales de los que obtener indicadores que permitan generar un procedimiento innovador para evaluar e integrar todos los impactos, mediante una ajustada evaluación de todos los costes intervinientes en los diferentes procesos de recuperación a través de una clasificación sistemática de los mismos.

4.1. Obtención de la información catastral

Como ya se ha establecido anteriormente, el primer paso para la creación del modelo es el estudio de casos reales, para ello, en esta primera fase se ha llevado a cabo un estudio que permite conocer el mercado de viviendas que actualmente son susceptibles de sufrir una rehabilitación debido a su mal estado de conservación, este estudio se ha centrado en Sevilla, más concretamente, en el casco histórico de la ciudad, el más grande de España y uno de los más grandes de Europa (Fig. 4.1).



Figura 4.1. Centro histórico de Sevilla
(Alba et al. 2013)



Figura 4.2. Cascos Norte y Sur del centro
histórico de Sevilla (Alba et al. 2013)

La motivación para llevar a cabo esta primera fase de estudio dentro del centro histórico de la ciudad se debe a que reúne una mayor densidad de edificaciones antiguas, con el fin de que la muestra seleccionada presente un interés constructivo y patológico para el estudio. Más concretamente, se establecen diferentes rangos de edad dentro de los cuales se engloban las edificaciones identificadas, estos rangos son: entre 50-75 años,

75-100 años y más de 100 años. De esa manera se pueden establecer las tipologías edificatorias más frecuentes y sus respectivos indicadores.

La antigüedad mínima que se exige a las edificaciones es de 40-50 años, con el objeto que presenten un estado patológico lo suficientemente deficiente para justificar el planteamiento de demoler el edificio o volver a construirlo. Por ello el primer muestro identificativo se centra en la zona más septentrional del casco norte (Fig. 4.2), delimitado por la Avda. de Torneo, la muralla islámica de la Macarena y el hipotético eje que dibujan la Puerta Osorio y la Puerta Real (Fig. 4.3). El casco norte ha constituido tradicionalmente la zona más pobre y degradada del centro histórico, al ser ocupado por las residencias del sector obrero, pues hasta fechas muy recientes el casco norte ha albergado gran cantidad de industrias (fábricas, almacenes, carpinterías, talleres, industria ferroviaria...). Por lo que a pesar de tener una superficie inferior a la del casco sur, el casco norte ha presentado siempre mayor peso poblacional (en torno al 60% del total) (Minguito Sarrión, 2009). Por lo que al realizar el primer muestreo identificativo en la zona de casco norte, se aseguraba localizar edificaciones dentro de los rangos marcados y previsiblemente en un estado de conservación por lo menos deficiente. Asimismo, con ese primer muestreo



Figura 4.3. Representación planimétrica de los ejes hipotéticos que delimitan el casco norte del centro histórico de Sevilla. Fuente: el autor (Alba et al. 2013)

estratégico se consigue tener una visión del amplio mercado de edificaciones que presentan las características idóneas para ser objeto de la evaluación técnica, económica y ambiental que se plantea con el modelo propuesto.

Una vez clasificadas las edificaciones identificadas en función del rango de edad, distinguiéndose las edades de las edificaciones en función del color asignado (Fig. 4.4), se procede a la obtención de información referente a las características constructivas generales de las mismas, extraídas de la Sede Catastral de la Dirección General del

Catastro del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas (2013). Toda esta información se recoge en una hoja de cálculo (Tabla 4.1), el contenido de la misma, por columnas, de izquierda a derecha refleja: El número de referencia que permitirá anexar está información general de las edificaciones a la información gráfica de la muestra de doscientas cincuenta parcelas analizadas a través de un programa de procesamiento geoespacial SIG. Dirección exacta del inmueble para su correcta localización, usos principal y secundario, fecha de construcción y si fuese de aplicación, fecha de la última intervención, tipo de finca, si se trata de un inmueble único o de división horizontal, superficies de suelo y superficie construida total y por plantas, número de plantas y número de viviendas por plantas. Con esta información se consigue tener identificado el inmueble en sus aspectos más significativos, permitiendo establecer, en fases posteriores de la investigación, la tipología edificatoria más significativa.

Una vez definidas constructivamente las edificaciones, se procede a completar la información de las mismas desvelando el estado de conservación en el que se encuentran. Para ello, se ha considerado que la forma más visual y eficaz es a través de fotografías generales de fachada tomadas in situ, que permiten comprobar el estado de conservación en el que se encuentra la edificación (Fig. 4.4).

Nº Ref.	Dirección			Usos		Fechas		Tipo de Finca	Superficies		Nº plantas
	Vía	Nombre	Nº	Principal	Secundario	Año const.	Última Interv.		Suelo	Construida total	
E342019	CL	Becquer	16	Residencial	...	1950	...	Inm. único	60	147	PB+1+C
E441214	CL	Becquer	17	Residencial	Comercial.PB	1950	...	Inm. único	292	426	PB+1+C
E342020	CL	Becquer	18	Residencial	Comercial.PB	1950	...	Inm. único	57	164	PB+2+C
E342022	CL	Becquer	26	Residencial	Comercial.PB/	1950	...	Inm. único	138	302	PB+1+C
E239040	CL	Peral	2	Residencial	Comercial. PB	1940	...	Div.horizional	58	146	PB+2+C
E140436	CL	Peral	3	Residencial	Comercial. PB	1940	...	Inm. único	149	490	PB+2+A
E239041	CL	Peral	4	Residencial	Comercial. PB	1945	...	Inm. único	133	391	PB+2+C
E140435	CL	Peral	7	Residencial	Comercial. PB	1950	2005	Div.horizional	145	516	PB+2+A
E140431	CL	Peral	15	Residencial	...	1950	2005	Div.horizional	109	323	PB+2
E240013	CL	Escobero	2	Residencial	...	1940	...	Inm. único	199	665	PB+2+A
E240014	CL	Escobero	4	Residencial	Comercial. PB	1940	2000	Div.horizional	186	586	PB+2+C

Tabla 4.1. Fragmento de hoja de cálculo de la información constructiva de las edificaciones (Alba et al. 2013)

4.2. Creación de base de datos en soporte SIG

Obtenida toda la información considerada de interés para la investigación, se procede a la creación de la base de datos, para ello se vuelca esta información en un programa de procedimiento geoespacial SIG.

El procedimiento llevado a cabo para la creación de la base de datos consiste en:

1. Anexar la información constructiva contenida en la hoja de cálculo (ANEXO I) con la información gráfica de las parcelas de Sevilla en soporte SIG.

Partiendo de la planimetría facilitada por la Gerencia de Urbanismo de Sevilla, en la que se encuentran la totalidad de las parcelas de Sevilla en soporte SIG, con los polígonos que constituyen dichas parcelas correctamente cerrados, requisito

indispensable para poder asociar la parcela con la información previamente obtenida de los inmuebles, se procede a asociar la información constructiva ya obtenida con la parcela a la que pertenece. Una vez anexada la información al polígono, con pinchar sobre el mismo aparece una tabla de atributos en el que queda reflejada toda la información constructiva extraída de catastro relativa al inmueble que define dicho polígono en el plano.

2. Destacar las parcelas por rango de edad.

Una vez anexada la información, se marcan en el mapa las parcelas comprendidas dentro de los rangos de edades establecidos, para ello se designa una tonalidad de color diferente para cada rango de edad, de esta forma todas las parcelas de un mismo rango de edad aparecen en el mismo color, diferenciándose de las parcelas de otro rango. Esto permite una identificación inmediata de la antigüedad aproximada de los inmuebles que se desea consultar.

3. Introducir la fotografía de muestra de los inmuebles

Para introducir las fotografías de muestra que permiten conocer el estado en el que se encuentra el inmueble se crea dentro de la tabla de atributos de cada inmueble un nuevo campo, denominado campo tipo ráster, de forma que la fotografía forma parte de la información contenida en la tabla de atributos.

Llegados a este punto y gracias a la funcionalidad del programa, se consigue una fácil, efectiva y clara visualización de la información, de manera que, en la vista de datos del programa, con tan sólo dirigirse a la parcela de interés se puede obtener la información constructiva de ésta, así como una visualización fotográfica de su estado de conservación (Fig.4.4).

En esta primera evaluación, la base de datos creada permite por un lado, identificar de una manera fácil y fiable las zonas, barrios o calles más degradadas que necesitan una actuación prioritaria. Este primer muestreo identificativo se ha realizado en la zona más septentrional del casco norte, identificándose como zonas de actuación prioritaria la zona noroeste, casualmente, la zona más distante de la Alameda de Hércules, jardín público más extenso del centro de Sevilla y punto de encuentro de los habitantes de la ciudad. Y por otro, del muestro realizado en esta primera fase, también se han podido identificar las tipologías edificatorias más representativas, siendo estas las edificaciones de uso residencial de tres y cuatro plantas de altura, que casualmente coinciden con la tipología de vivienda social más extendida en la ciudad de Sevilla (Salas, 2013).



Figura 4.4. Vista de datos del programa (Alba et al. 2013)

Derivado de esta primera fase de análisis, se toma la determinación de que el estudio de caso que cumple las características idóneas para el desarrollo de la tercera fase de la investigación es la denominada “Barriada RENFE”, compuesta por viviendas sociales de planta baja más tres, situadas en la identificada como zona de actuación prioritaria, al noroeste del casco histórico de la ciudad de Sevilla, más concretamente en el Distrito Macarena (Fig 4.5).



Figura 4.5. Zona de actuación prioritaria: Noroeste del casco histórico de Sevilla. Situación de “barriada RENFE”

A partir de los datos extraídos en la primera fase se obtienen los indicadores de evaluación de las edificaciones. Estos indicadores de evaluación no son más que las unidades constructivas características tales como: cimentación, estructura, cubiertas, etc., que constituyen la tipología edificatoria identificada como las más representativas a través del muestreo realizado en la primera fase. Estas unidades constructivas características, son sometidas a un análisis de costes que supone la base del modelo, ya que se realiza en los supuestos de recuperación o nueva construcción. Para el análisis de costes económicos, el cual se desarrolla extensamente en la siguiente fase, se emplea como herramienta de referencia el Banco de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA, 2014). Debe tenerse en cuenta que este banco desarrolla costes de elementos de nueva construcción así como costes de demolición parcial y total (Marrero et al. 2011), por lo que el análisis de costes en los supuestos de recuperación del elemento se abordan exhaustivamente en la presente tesis.

Etapa 2: Objetivos, metodología y desarrollo

Fase 2: Análisis integral de costes

METODOLOGÍA Y DEARROLLO

5. Fase 2: Análisis integral de costes

Como ya se ha venido justificando desde la primera etapa previa al desarrollo del modelo, ante la cuestión que se pretende resolver en la presente tesis, que no es otra que la de poder evaluar objetiva y cuantitativamente la viabilidad de la recuperación de edificios frente a su demolición, se hace indispensable que dicho modelo realice un análisis integral de costes tomando en consideración la gran cantidad de variables económicas y ambientales que forman parte del proceso de decisión.

La integración de estas variables dentro de dicho análisis pasa por la realización de una exhaustiva evaluación de los impactos relacionados con los aspectos económicos y ambientales que vienen puntualizándose desde el estado de la cuestión. Como punto de partida del desarrollo del modelo, el aspecto económico juega un papel fundamental, pues a través de la estructura de clasificación sistemática del BCCA (2014), se consigue obtener no sólo la valoración económica de la actuación, sino que nos proporciona los descompuestos de cada una de las partidas y los rendimientos y cantidades de los recursos empleados. Estos recursos pueden ser clasificados en los elementos básicos totales de mano de obra, materiales y maquinaria, elementos que definen la HE en edificación, lo que permite evaluar esos impactos desde el punto de vista ambiental, segundo de los aspectos que se consideran en el análisis integral de costes que se pretende llevar a cabo en el modelo de viabilidad.

5.1. Evaluación del impacto económico

La importancia de la exhaustiva evaluación económica realizada se basa, como ya se ha anticipado, en que esta sienta las bases del modelo ya que no se limita únicamente a aportar la valoración monetaria de la intervención, sino que, gracias a la estructura de clasificación sistemática sobre la que se sustenta, permite tener cuantificados los recursos empleados y clasificados según la descomposición tradicional: mano de obra, materiales y maquinaria. Clasificación que coincide con los elementos básicos que definen la HE en edificación, por lo que el análisis ambiental se alimenta de esta cuantificación de recursos ya realizada en la presupuestación.

En el estado de la cuestión se han expuesto las características generales del modelo de clasificación y presupuestación tradicionalmente empleado en obras de edificación en el ámbito autonómico de Andalucía, región geográfica donde se centra el estudio de aplicación de la presente tesis. Dicho modelo tradicional se desarrolla para obras de nueva construcción así como para obras de demolición, siendo novedosa su aplicación a obras de recuperación, por lo que surgen cuestiones como si las actuaciones sobre construcciones existentes requieren un tratamiento económico distinto al de las obras de nueva planta y si es posible adaptar el modelo tradicional a las características de las obras de recuperación. En el siguiente apartado se dan respuesta a estas cuestiones mediante el planteamiento de los mecanismos de adaptación del modelo necesarios para su uso en obras de recuperación.

5.1.1. Modelo de presupuestación aplicado a recuperación

Debido a las singularidades que presentan las obras de recuperación, a la hora de abordar su presupuestación surgen problemas que dificultan la directa aplicación del modelo de presupuestación tradicional, por lo que en el presente apartado se desarrolla el proceso de adaptación que ha de sufrir el modelo para su correcta aplicación sobre obras de recuperación (Ramírez de Arellano, 2004).

Partiendo de la estructura de costes expuesta en el estado de la cuestión (Fig. 2.6), la cual está constituida en dos partes en función de la forma de imputación de los costes: por un lado están los costes directos, que son aquellos en los que la asignación se realiza mediante la aplicación del precio a la cantidad con la que ese componente interviene en el coste (medición), y por otro están los costes indirectos, que se asignan mediante aplicación de un valor relativo (porcentaje) sobre los costes de referencia. Esto permite la división de la estructura de costes en dos grandes bloques, los endógenos, que agrupan los importes de ejecución material y los exógenos, que contemplan los costes generados fuera de la obra (costes indirectos generales, beneficio industrial, impuesto sobre el valor añadido).

Estos dos grandes bloques constituyen la estructura de costes tradicional, por lo que para analizar la adaptabilidad del modelo de presupuestación hay que reflexionar sobre las diferencias significativas que las particularidades de las obras de recuperación pueden ocasionar en los mismos. En el caso de los costes exógenos, los tres conceptos: costes generales, beneficio industrial e impuestos sobre valor añadido, se imputan indirectamente mediante aplicación de porcentajes sucesivos, cuyo valor no depende del tipo de obra sino de la forma de contratación y de otros aspectos como las características de la empresa constructora. Por lo que podemos determinar que estos costes no presentan diferencias conceptuales significativas con la presupuestación de obras de nueva planta, pudiendo aplicarse este tipo de costes de manera inmediata, sin necesidad de mecanismos de adaptación.

Los costes endógenos por el contrario dependen directamente de la actividad productiva, que es donde se encuentra la gran diferenciación entre las obras de nueva planta y las obras de recuperación, lo que obliga a emplear instrumentos de adaptación sobre este bloque. Para entender donde se aplican estos mecanismos de transformación, conviene recordar la relación entre los distintos componentes de la estructura de costes: mediante la aplicación de la medición al precio unitario correspondiente (simple, complejo o funcional) se obtiene el importe de cada partida, del sumatorio de los importes de ejecución de las diferentes partidas resulta el importe de ejecución por capítulos (IEC) y por último, el importe de ejecución material (IEM) resulta de sumar los IEC (Ramírez de Arellano, 2004). Este recordatorio permite vislumbrar las dos dimensiones que caracterizan al modelo de presupuestación tradicional: el precio de cada unidad de obra y la cantidad en la que cada unidad de obra interviene en el precio (medición). De estas dos dimensiones, la medición de las unidades de obra no presenta diferencias significativas a la hora presupuestar obras de recuperación, en cambio, en el cálculo de

los precios unitarios sí que pueden aparecer particularidades en este tipo de obra que den lugar a diferencias económicas significativas, por lo que es en este punto donde se aplican los instrumentos de adaptación necesarios para transformar la estructura de costes de referencia.

Para afrontar el análisis de los mecanismos de adaptación se acometen los precios en función de los niveles que ocupan en la estructura de costes, comenzando por los niveles más bajos:

- Precios Básicos (PB): en estos precios de primer nivel intervienen únicamente costes directos por unidad de elementos básicos, es decir, elementos constructivos que se refieren a cada uno de los recursos: materiales, maquinaria y mano de obra, empleados en la formación de elementos auxiliares o en unidades de obra, por lo que las variaciones sólo aparecerán en esta clase de costes directos, las cuales se desglosan en función de dichos elementos básicos:

- **Materiales**: los precios básicos de materiales se obtienen agregando a los precios de suministro, en función de las condiciones en las que se realice la compra, los posibles transportes externos, roturas y trabajos complementarios necesarios hasta que el material esté en obra en condiciones de ser usado (acopiado).

La diferencia de este proceso operativo en obras de recuperación radica en las mayores dificultades de acceso a estas obras por parte de los medios de transportes externos, así como mayor dificultad de los procesos de descarga, ya que habitualmente estas obras se encuentran ubicadas en centros urbanos consolidados. Esta variación se subsana añadiendo un sumando donde se refleja el aumento de los costes en el transporte y descarga debido la variación de rendimiento derivado de una mayor dificultad de los trabajos.

- **Maquinaria de producción directa**: estos precios comprenden las amortizaciones, consumos energéticos, costes financieros y de oportunidad, reparaciones, seguros y demás costes asociados al uso de la maquinaria en obra.

En obras de recuperación estos conceptos no varían, pero al igual que ocurre con los precios básicos de materiales, la alteración producida por los incrementos en el transporte y retirada de la maquinaria se corrige a través de los rendimientos, lo que se verá reflejado en el coste final de la maquinaria.

- **Mano de obra de producción directa**: los precios básicos de mano de obra reflejan el coste horario en función de convenios colectivos de cada zona, los costes de seguridad social, la situación real del mercado y las horas trabajadas.

Las obras de recuperación suelen requerir intervenciones más complejas, ya que precisan de determinadas labores previas antes de llevar a cabo la actuación

sobre el elemento constructivo, diferenciándose así de los procesos de ejecución en el caso de obra nueva. Esta mayor complejidad de las actuaciones supone un incremento en las horas de los trabajadores, debiendo traducirse dicho incremento en el sumatorio del coste final de mano de obra.

- Precios Auxiliares (PA): estos precios son considerados intermedios dentro de la estructura de costes. Están formados mediante agrupación de precios básicos, por lo que en ellos sólo participan costes directos.

Teniendo en cuenta que estos precios auxiliares se obtienen mediante la aplicación de los precios básicos a las cantidades con las que estos participan en el conjunto que forman el precio auxiliar, sólo pueden esperarse diferencias en los consumos de los componentes. En obras de recuperación, se deberán considerar las variaciones de estos consumos en caso de que las características especiales de la actuación de recuperación requieran de dicha modificación.

- Precios Unitarios (PU): los tres niveles de precios unitarios (simples, complejos y funcionales), a diferencia de los niveles anteriores, se construyen con representación de las dos formas de imputación establecidas al comienzo del presente apartado, costes directos e indirectos de ejecución. Esta dualidad genera problemas de diversa índole que obliga a analizar por separado los mecanismos de adaptación necesarios.

- Adaptación de los costes directos de ejecución (CDE): para aclarar las modificaciones que pueden sufrir los precios unitarios en cualquiera de sus tres niveles, conviene recordar que los precios unitarios simples se calculan multiplicando los precios de los componentes de los niveles inferiores (básicos y auxiliares), a la cantidad con la que esta interviene en el conjunto. Por lo que son dos las dimensiones que pueden verse afectadas, el precio y la cantidad. Las variaciones en los precios se han puntualizado en los apartados de precios básicos y auxiliares, donde los mecanismos de adaptación establecidos son de inmediata aplicación en los precios unitarios, quedando pendiente analizar las variaciones que se producen en las cantidades de los elementos.

La primera consideración parte de las singularidades que caracterizan a las obras de recuperación, lo que obliga a aumentar a tres las clases de unidades que se pueden dar en este tipo de obra:

Unidades propias de nueva planta: son partidas habituales en obras de nueva planta pero que también pueden encontrarse en obras de recuperación, se tratan de unidades como tabiques, solados o cualquier otra unidad típica de nueva planta.

En estas unidades, como en los precios auxiliares ya analizados sólo se producen variaciones en los consumos esperados de algunos componentes.

Unidades específicas de recuperación: se trata de unidades que tienen su

origen en soluciones constructivas singulares relacionadas con edificios en recuperación, en general están relacionadas con tareas como demoliciones parciales, desmontados, recalces, refuerzos, aperturas de huecos, etc.

El tratamiento de estas unidades específicas no tiene precedente en la estructura de costes tradicional, por lo que para la adaptación del modelo no puede hablarse de cambio, sino de integración encaminada a extender el ámbito de aplicación de la estructura de costes.

Unidades mixtas: clases de unidades en las que se combinan tareas propias de nueva planta y específicas de recuperación. Esta consideración mixta propicia que se den simultáneamente los dos efectos de adaptación anteriores, aumentos en los consumos esperados y soluciones constructivas singulares.

- Adaptación de los costes indirectos de ejecución (CIE): como su propio nombre indica estos costes se refieren a todos aquellos que no sean directamente imputables a unidades de obra concretas, aplicándose estos mediante un porcentaje sobre los costes de referencia.

Desde el punto de vista conceptual, esta clase de coste no presenta elementos diferenciadores entre obras de nueva planta y obras de recuperación, ya que la amplitud de su definición da cabida a todas las singularidades que puedan surgir en obras de recuperación.

Sin embargo, la repercusión económica de esta clase de costes puede alcanzar magnitudes económicas de gran importancia, por lo que deberán adaptarse a las particularidades de las obras de recuperación, con el fin de reducir el riesgo de error que pudiera producirse.

Lo expuesto pone de manifiesto que el modelo de referencia es perfectamente válido para la presupuestación de obras de recuperación, siempre que se lleven a cabo su adaptación mediante: extensión del sistema para dar cabida a las partidas específicas de recuperación, correcta estimación de los consumos de componentes mediante análisis de cada unidad de obra y adaptar los CIE a las particularidades de la obra de recuperación. En el siguiente apartado se describe el procedimiento seguido para desarrollar el banco de costes de recuperación.

5.1.2. Procedimiento de redacción y cálculo de precios de recuperación

Definido el modelo de presupuestación de referencia empleado, así como los instrumentos de adaptación necesarios para salvar las diferencias surgidas por las particularidades que encierran las obras de recuperación, se procede a especificar el procedimiento de redacción de los precios de recuperación y que constituyen el banco de costes de recuperación (BCCR) propuesto en la presente tesis.

Como ya se ha especificado en el apartado 2.2.1. Modelo de clasificación y presupuestación en edificación (BCCA), donde se define el modelo de presupuestación de referencia. Se ha tomado la determinación de emplear precios unitarios complejos (PUC) para la creación del BCCR, esto se debe a que estos PUC, situados en el nivel superior de la estructura de costes, permiten una mayor complejidad en su definición, reuniendo los procedimientos de ejecución y las actividades necesarias para acoger la mayor dificultad que conllevan los trabajos de obras de recuperación.

El objeto que persigue el uso de este tipo de PUC no es otro que el de usar este concepto, existente en el modelo de presupuestación de referencia y que permite simplificar el proceso sin perder información y sin poner en riesgo la precisión del resultados final. El PUC se define como: *“coste por unidad de un elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos, auxiliares y unitarios que constituyen un conjunto constructivo, que es realizado por uno o varios grupos de especialistas”*, esta definición permite delimitar el entorno propio de unidades de obra complejas y facilitar su distinción al compararlas con otros elementos constructivos.

La mayor singularidad de estos precios complejos es que para afrontar su cálculo se hace indispensable elegir una solución entre las distintas alternativas posibles, pudiendo decidir si se emplean únicamente precios unitarios, sólo precios básicos o auxiliares o una combinación de precios unitarios, básicos y auxiliares.

En el cálculo de los nuevos PUC de recuperación, siempre que ha sido posible se han empleado precios unitarios simples de obras de nueva planta existentes en el BCCA. Estos precios unitarios simples han sido tratados como PUA a la hora de crear los PUC de recuperación, previa adaptación mediante los instrumentos especificados en el apartado anterior, lo que ha permitido que se reflejen, a través de los incrementos de los consumos de componentes, la mayor dificultad que presentan los trabajos en obras de recuperación. Cuando no existe un PU en el BCCA que usar como auxiliar, se ha extendido el sistema mediante la creación de nuevos precios unitarios simples de recuperación.

Estructura de precios unitarios

Con el objetivo de que los elementos que componen el precio dispongan de un orden determinado y puedan establecerse dentro de las estructuras formales de referencia, los precios unitarios complejos de recuperación se desarrollan según la estructura de precios establecido en el BCCA (2014).

Para ser más exactos con la terminología empleada, los PUC se han desarrollado como precios unitario complejo descompuesto (PUCD), la diferencia entre ambos precios tiene que ver exclusivamente con la representación formal de los mismos. Por lo que se define PUC cuando sólo contenga el epígrafe y el valor monetario del precio y PUCD cuando estén representados todos los componentes que integran la estructura del precio.

El epígrafe del precio es clave para asegurar los mecanismos de sincronización del modelo de presupuestación, ya que a través de él se consigue la completa identificación

de las unidades de obra. El epígrafe está formado por un conjunto de datos a través de los cuales es posible identificar con claridad los elementos constructivo asociado a un precio y cuantificar los elementos de nivel inferior que lo forman. En la figura 5.1 se representa la estructura de los PUCD, desplazándonos por filas de izquierda a derecha se describen los elementos que la constituyen:

Código	u. medida	Nombre resumido			
Descripción					
Criterio de medición					
CÓDIGO	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	
Codificación componente	Descripción componente				
		Costes Directos			
		%CI	Costes		
		TOTAL			

Figura 5.1. Estructura del precio unitario descompuesto (Ramírez de Arellano, 2004).

- **Código de unidad:** conjunto alfanumérico que permite tener correctamente ubicada la unidad de obra dentro de la estructura de presupuestación. Se ha empleado el sistema de clasificación del BCCA, donde se establecen tres clases de códigos, cada uno de ellos vinculado con los niveles de precios desarrollados en la estructura de costes (Precio básico, auxiliar y unitario). Dado que el banco de costes de recuperación está compuesto por PUC a continuación se desarrolla la estructura del código de los precios unitarios.

El sistema de clasificación adoptado en el código (Fig. 5.2) está formado por elementos alfanuméricos significativos, donde los dos primeros caracteres representan el capítulo, la primera letra corresponde al subcapítulo, la segunda al apartado y la tercera corresponde al grupo, mientras que la última parte formada por cinco números designan el orden de la unidad.

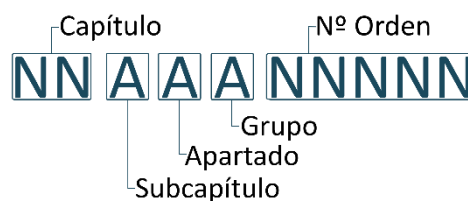


Figura 5.2. Estructura del código de precios unitarios

De este modo el sistema de clasificación queda materializado en el código del precio, lo que permite la identificación precisa de los conceptos codificados gracias a la correspondencia biunívoca entre cada código y el precio que representa, lo que significa que a cada código le corresponde un solo precio y cada precio un solo código.

Los nuevos precios unitarios complejos de recuperación tienen cabida dentro de la clasificación sistemática del BCCA, sin necesidad de crear una estructura mucho más amplia, puesto que actualmente la estructura sistemática del BCCA cuenta, dentro de cada capítulo, con un subcapítulo de recuperaciones. Estos subcapítulos de

recuperaciones se encuentran incompletos, por lo que sería en estos subcapítulos donde se clasificarían sistemáticamente los nuevos precios unitarios complejos de recuperación.

De lo anteriormente expuesto se desprende que, al ubicarse los nuevos PUC en el subcapítulo recuperación (R) y respetando la estructura del código desarrollada, la primera letra significativa de la codificación de los nuevos precios unitarios complejos será una R, por pertenecer al subcapítulo de recuperación.

A continuación se expone un ejemplo de código de un nuevo PUC correspondiente al recalce de zapata corrida por micropilotaje:

Código.....03RZQ00001
Capítulo.....03_Cimentaciones
Subcapítulo...R_Recuperación
Apartado.....Z_Zapatas
Grupo.....R_Recalces

- Unidad de medida: se emplean las unidades de medida más adecuadas a las características formales del elemento según el Sistema Internacional (SI) (R.D. 1317/1989, de 27 de octubre).
- Nombre resumido: su finalidad es la de apoyar al código en la rápida identificación del precio, por lo que debe indicarse el nombre resumido más habitual con el que se conoce la unidad de obra.
- Descripción: la función de la descripción no es otra que la de establecer las fronteras del precio, delimitando el entorno de los elementos que lo constituyen, esta descripción ha de ser clara, completa y resumida. Acompañan a esta descripción detallada las inclusiones de aquellos elementos complementarios que forman parte del precio principal y que su falta de referencia podría generar dudas al interpretar las fronteras del precio. La descripción debe cerrarse, siempre que sea posible, haciendo mención de las normas de referencia que regulan el elemento constructivo, cuando se trate de precios unitarios, que es el caso que nos ocupa, es conveniente extender la mención a la descripción del elemento constructivo.
- Criterio de medición: el criterio de medición es otro de los elementos que ofrece el epígrafe como instrumento de sincronización, ya que establece de forma precisa como han de medirse las partidas, sirviendo para igualar los criterios en los dos puntos del modelo de presupuestación donde se pueden generar conflictos, en la obtención de los precios y en la medición.

La redacción del epígrafe es de gran importancia en el desarrollo de los precios unitarios complejos, ya que es el conjunto de datos a través del cual es posible identificar con claridad los elementos constructivos asociados a un precio y cuantificar los elementos que lo forman.

A partir de aquí aparecen los elementos que forman los costes directos de ejecución del precio unitario descompuesto, donde en primer lugar se muestra la codificación de los componentes de la unidad de obra seguido de su correspondiente descripción, las tres columnas donde se fijan la cantidad de cada componente por unidad de medida, el precio básico o unitario de cada componente y el importe resultante de multiplicar cantidad y precio, y por último, el espacio destinado a la suma de los costes directos (Fig.5.1).

La estructura del precio se cierra con el cálculo de los costes indirectos, donde han de aparecer indicados el porcentaje de costes indirectos que es de asignación según las características de la obra y el espacio dedicado a consignar el importe de costes indirectos. Por último aparece el espacio destinado al total del precio de la unidad de obra.

Cálculo de precios unitarios complejos (PUC)

A la hora de abordar el cálculo de los precios, hay que volver a diferenciar los dos grandes bloques que componen la estructura de costes del modelo de presupuestación en función de su forma de imputación. Estos son los costes que se imputan por vía directa mediante la aplicación de un precio a una determinada cantidad y los costes de imputación indirecta, que se aplican mediante aplicación de un porcentaje sobre los costes directos.

Cálculo de costes directos de ejecución (CDE)

El método de cálculo de CDE empleado respeta todos los principios del modelo de presupuestación, permitiendo el cálculo de las cantidades con las que cada componente interviene en el precio, así como los importes parciales por unidad mediante la aplicación de las cantidades al precio por unidad y finalmente el CDE realizando el sumatorio de los importes parciales que intervienen en el precio.

El proceso de cálculo de los CDE se divide en tres grandes etapas: cálculo del módulo y del factor de repercusión, cálculo de los componentes por unidad de medida y finalmente obtención de los importes parciales y totales de CDE.

- Cálculo del módulo y del factor de repercusión
 - Elección del módulo: el módulo se define como una parte de la actividad constructiva que, desde un punto de vista estadístico, es posible aceptar que a lo largo del proceso constructivo se repite de forma continuada. En función de las características, dimensiones, disposición constructiva, componentes y criterios de medición de la unidad de obra, cuyo precio se trata de determinar, se elige la secuencia que refleja con más exactitud la cantidad con que cada elemento constitutivo de la misma participa en su ejecución.
- Para el cálculo de precios el módulo es clave, ya que al repetirse de forma continuada, es posible definir un coeficiente de proporcionalidad que mida la relación entre él y la unidad de medida correspondiente al precio en estudio.
- Para cada precio se seleccionará el módulo idóneo, ya que la precisión final del

precio dependerá del grado de representatividad el módulo elegido.

- **Medición del módulo:** con el fin de garantizar la coherencia interna del modelo de referencia, la medición del módulo debe realizarse con la unidad de medida y criterios de medición fijados en el epígrafe. Esto es clave para que exista sincronización entre el precio y la medición, que deben realizarse en la misma unidad de medida y con el mismo criterio.

En la figura 5.3 se expone a modo de ejemplo la elección del módulo seleccionado para la elaboración de uno de los PUC que constituyen el BCCR, la mayor dificultad que encierra la elaboración de estos precios complejos también se ve reflejado en su módulo. Concretamente el módulo elegido pertenece al capítulo de instalaciones, el módulo es una columna de viviendas, por lo que se mide la longitud ejecutada de derivaciones en toda la altura del edificio.

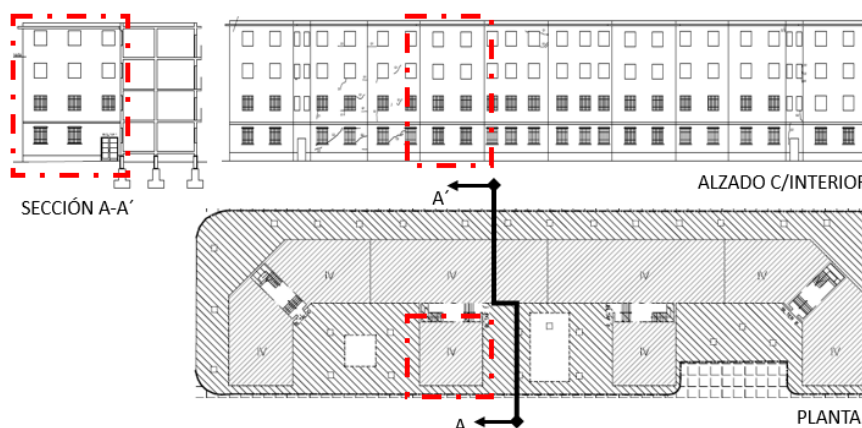


Figura 5.3. Ejemplo de elección de módulo de PUC de recuperación. Capítulo instalaciones (Ruíz-Pérez, 2015)

- **Cálculo del factor de repercusión:** el factor de repercusión mide la relación entre la unidad de medida y la medición del módulo, por lo que representa un coeficiente de proporcionalidad que permite calcular la cantidad con la que los componentes constructivos del precio intervienen en la unidad de medida fijada en el epígrafe del precio.

El factor de repercusión (Fr) se obtiene calculando la inversa de la medición del módulo. Multiplicando el Fr por las cantidades de componentes en el módulo se determinan las cantidades en las que estos intervienen en la unidad de medida del precio.

- Cálculo de componentes por unidad de medida
 - **Componentes:** los componentes son el conjunto de elementos (precios básicos, auxiliares o unitarios) que integran los costes directos de ejecución que constituyen el precio principal. En el BCCR elaborado los precios principales son precios unitarios complejos, siendo los componentes que integran cada PUC precios unitarios simples de recuperación.
 - **Relación de componentes:** el primer paso para determinar qué elementos constituyen el precio principal es relacionar mediante codificación y descripción

del concepto los elementos que se imputan por vía directa. En el caso de los PUC que constituyen el banco de costes de recuperación se relacionan los precios unitarios simples, estableciéndose un código alfanumérico siguiendo la estructura de codificación ya expuesta y describiéndose el concepto con indicación de la unidad de medida de cada PUS, esta relación permite tener identificados todos los elementos de imputación directa que intervienen en el PUC.

- Medición de la cantidad de componentes por módulo: en este punto es donde se determina la cantidad de cada componente en función del módulo elegido. Como ya se anticipó en el apartado de medición del módulo, para mantener la coherencia del método cada componente se mide en la unidad de medida y con el criterio de medición especificada para cada uno en su epígrafe. Por lo que los PUS que componen los PUC del banco de costes de recuperación se desarrollan según la estructura de precios unitarios arriba indicada, con expresión de su correspondiente unidad de medida y criterio de medición, estableciéndose así la cantidad con la que ese PUS interviene en el precio complejo en función de la medición del módulo.

- Cálculo de la cantidad de los componentes por unidad de medida: el cálculo de la cantidad con la que cada componente participa en el precio se resuelve mediante la aplicación del factor de repercusión calculado a la cantidad de componente por módulo. Las cantidades por unidad de medida en las que cada PUS interviene en el PUC se obtiene multiplicando las cantidades por módulo de cada PUS por el factor de repercusión calculado.

- Obtención de los importes parciales y totales de CDE

El cálculo de los CDE requiere tan sólo de la definición de los precios de los elementos que componen el precio principal. En la práctica cotidiana es frecuente que se conozcan estos precios, en nuestro caso, los PUS se calculan para el caso concreto del unitario complejo elaborado, sin embargo para la creación de los PUS se emplean los precios de la BCCA.

- Cálculo de importes parciales CDE: el importe parcial se obtiene multiplicando el precio del elemento por la cantidad con la que este interviene en la descomposición.

- Cálculo de importes totales CDE: la obtención de este importe total de CDE se puede expresar como la suma de los productos de las distintas variables manejadas en el modelo, o de manera más sintética, puede definirse como el sumatorio de los importes parciales anteriores.

Para una mejor comprensión del proceso de cálculo de CDE expuesto, a continuación se desarrolla el cálculo de un precio unitario complejo, siguiendo cada una de las etapas descritas:

En primer lugar es fundamental desarrollar el contenido que acogerá el epígrafe del precio unitario complejo tomado como ejemplo, puesto que en el aparecen los tres elementos clave que garantizan la sincronización entre precio, medición y presupuesto que ofrece

el modelo de presupuestación. Estos elementos son el código, la unidad de medida y el criterio de medición (Tabla 5.1), siendo además imprescindible para el cálculo de los costes directos de ejecución conocer la unidad de medida y el criterio de medición con el que se calcula el precio principal.

Código	03RZQ00001
Unidad de medida	m
Nombre resumido	Recalce de zapata corrida con micropilote "in situ" c/camisa acero Ø 60 mm y profundidad hasta 27,00 m
Descripción	Recalce de zapata corrida de hormigón ciclópeo formado por: apertura de caja en acerado, realizada con medios manuales hasta una profundidad máxima de 1,50 m, y perfilado de bordes; perforaciones en zapata, realizada mediante equipo de perforación por rotación con corona de diamante desde el exterior y con martillo de fondo por el interior en la totalidad de la altura de la zapata y retirada de testigo; micropilotaje in situ exterior e interior, incluso descabezado, limpieza y doblado de las armaduras. Construido según EHE, NCSR-02 y CTE.
Criterio de medición	Medida la longitud ejecutada hasta la plataforma de apoyo del equipo.

Tabla 5.1. Contenido del epígrafe de un precio unitario complejo

Cálculo de costes directos de ejecución (CDE)

- Cálculo del módulo y del factor de repercusión
 - Elección del módulo.....metro de micropilote ejecutado
 - Medición del módulo..... $M_M=230_{\text{Pilotes}} \times 27_{\text{m/pilote}}=6.210 \text{ m}$
 - Cálculo del factor de repercusión..... $F_R=1/6.210 \text{ m}=0,000016$
- Cálculo de componentes por unidad de medida
 - Componentes:

A continuación se descomponen los recursos necesarios para realizar las tareas de cada precio unitario simple (PUS) que constituyen el precio unitario complejo (PUC):

Tareas (PUS)	Recursos (descomposición PUS)
Apertura de caja en acerado	Peón especial Carretilla mecánica basculante 1 m ³
Perforación en zapata desde el exterior	Oficial 2 ^a Peón especial Equipo perforación c/corona diamante
Perforación en zapata desde el interior	Oficial 2 ^a Peón especial Equipo perforación c/martillo de fondo
Micropilote "in situ" por el exterior	Oficial 1 ^a Peón especial Compresor dos martillos Equipo perforación micropilotes Repercusión transporte y montaje de máquina Camisa acero S375JR Ø 60 mm y e. 5,5 mm Cemento cem ii/a-I 32,5 n en sacos
Micropilote "in situ" por el interior	Oficial 1 ^a Peón especial Compresor dos martillos Equipo perforación micropilotes Repercusión transporte y montaje de máquina Camisa acero S375JR Ø 60 mm y e. 5,5 mm Cemento cem ii/a-I 42,5r a granel

Tabla 5.2. Estructura del código de precios unitarios

- Relación de componentes:

Los componentes se relacionan en las columnas "CÓDIGO" y "CONCEPTO" de la estructura del precio. Como ya se ha especificado en el procedimiento de cálculo de los precios, los PUC se han confeccionado con PUS, que serán los que integren la relación de componentes (Tabla 5.5).

- Medición de la cantidad de componentes por módulo (Q_M):

A continuación se desarrolla como ejemplo de cálculo de la cantidad de componente por módulo la obtención de los metros de micropilote "in situ" necesarios para la realización del recalce de zapata.

Se han de emplear 42 unidades de micropilotes por el exterior de 27 metros de longitud media cada uno:

$$\text{- Metro micropilote exterior} \dots Q_M = 42_{u.pilote} \times 27_{m/pilote} = 1.134 \text{ m}$$

Se han de emplear 188 unidades de micropilotes por el interior de 27 metros de longitud media cada uno:

$$\text{- Metro micropilote exterior} \dots Q_M = 188_{u.pilote} \times 27_{m/pilote} = 5.076 \text{ m}$$

- Cálculo de la cantidad de los componentes por unidad de medida:

Como ya se ha especificado basta con aplicar a la cantidad de componente por módulo (Q_M) el factor de repercusión calculado (F_R):

Código	Concepto	Q_M	F_R	Q_U
03RZK00001	m. Micropilote "in situ" por el exterior	1.134	0,000016	0,183
03RZK00002	m. Micropilote "in situ" por el interior	5.076	0,000016	0,871

Tabla 5.3. Ejemplo cálculo Q_U

- Obtención de los importes parciales y totales de CDE

Los PUS son creados específicamente para la elaboración de cada PUC siguiendo el mismo procedimiento desarrollado en el presente capítulo. A modo de ejemplo en la Tabla 5.4 se desarrolla uno de los PUS elaborados para formar parte del PUC de recalce.

CÓDIGO	UD	CONCEPTO	(Q_U)	PRECIO	IMPORTE
03RZK00001	m	MICROPILOTE "IN SITU" EXTERIOR Ø 60 mm			
Micropilote "in situ" en exterior de edificio de diámetro exterior 140 mm, armado con camisa de acero de 60,3 mm de diámetro interior y 5,5 mm de espesor de pared, hasta 27 m de profundidad, incluso descabezado, limpieza y doblado de las armaduras; construido según EHE, NCSR-02 y CTE.					
Medida la longitud ejecutada desde la plataforma de apoyo del equipo.					
TO02100	h	OFICIAL 1ª	0,183	19,23	3,52
TP00100	h	PEÓN ESPECIAL	0,590	18,28	10,79
MC00100	h	COMPRESOR DOS MARTILLOS	0,030	6,35	0,19
MP80000	h	EQUIPO PERFORACIÓN MICROPILOTES	0,183	280,00	51,24
MP00600	u	REPERCUSIÓN TRANSPORTE Y MONTAJE MÁQUINA	0,037	6,45	0,24
CA80080	m	CAMISA ACERO S 375 JR Ø 60 mm Y ESP. 5,5 mm	1,000	26,46	26,46
GC00200	t	CEMENTO CEM II/A-L 42,5R A GRANEL	0,075	92,54	6,94
				Costes Directos	99,38

Tabla 5.4. Precio Unitario Simple de Micropilote "in situ" por el exterior

Las mediciones de las cantidades de componentes por módulo (Q_U) se han obtenido teniendo en cuenta la cantidad con la que cada recurso interviene en el precio. A modo de ejemplo se muestra el cálculo de las horas de peón oficial 1ª (TO02100),

considerando que para la ejecución de los 42 micropilotes exteriores se estiman 26 días de trabajo:

$$- \text{TO02100} \dots Q_U = 26_{\text{días}} \times 8_{\text{h/días}} = 208 \text{ h} / 1.134 \text{ m} = 0,183 \text{ h/días}$$

Los precios asignados a los componentes que forman los PUS están extraídos del banco de costes de la construcción de Andalucía (BCCA).

- Cálculo de importes parciales CDE: por aplicación de las cantidades de componente por unidad de medida (Q_U) al PUS creado se obtienen los importes parciales del precio unitario complejo (Tabla 5.5).
- Cálculo de importes totales CDE: mediante el sumatorio de los importes parciales se obtiene el importe total del PUC (Tabla 5.5).

03RZQ000 | m | RECALCE DE ZAPATA CON MICROPILOTE "IN SITU" C/CAMISA ACERO Ø 60 mm Y							
Recalce de zapata de hormigón ciclópeo formado por: perforaciones en zapata, realizada mediante equipo de perforación por rotación con corona de diamante desde el exterior y con martillo de fondo por el interior en la totalidad de la altura de la zapata y retirada de testigo; micropilote "in situ" de diámetro exterior 140 mm, armado con camisa de acero de 60,3 mm de diámetro interior y 5,5 mm de espesor de pared, hasta 27 m de profundidad, con limitación de gálibo de 2,70 m en el interior del edificio; incluso apertura de caja en acerado, realizada con medios manuales hasta una profundidad máxima de 1,50 m, y perfilado de bordes, descabezado, limpieza y doblado de las armaduras; construido según EHE, NCSR-02 y CTE.							
Medida la longitud ejecutada desde la plataforma de apoyo del equipo.							
CÓDIGO	U	CONCEPTO	Q _M	F _R	Q _U	PRECIO	IMPORTE
03RZC00001	m ³	APERTURA DE CAJA EN ACERADO	42,00	0,000161	0,007	59,41	0,42
03RZR00001	u	PERFORACIÓN EN ZAPATA EXTERIOR	42,00	0,000161	0,007	366,16	2,56
03RZR00002	u	PERFORACIÓN EN ZAPATA INTERIOR	188,00	0,000161	0,030	326,16	9,78
03RZK00001	m	MICROPILOTE "IN SITU" EXTERIOR Ø60 _{mm}	1.134,00	0,000161	0,183	99,38	18,19
03RZK00002	m	MICROPILOTE "IN SITU" INTERIOR Ø60 _{mm}	5.076,00	0,000161	0,817	140,97	115,17
Costes Directos							146,12

Tabla 5.5. Precio Unitario Complejo recalce de zapara corrida con micropilote

A través de este procedimiento de cálculo se definen los costes directos de ejecución (CDE) de los precios unitarios complejos (PUC) que componen el BCCR. Para completar los PUC, a los CDE hay que aplicarle el tanto por ciento de costes a imputar por vía indirecta.

Cálculo de costes indirectos de ejecución (CIE)

Partiendo de la consideración establecida en el párrafo anterior, conviene retomar la definición de CIE introducida en estado de la cuestión. En esta definición se establece que serán tratados como CIE todos aquellos costes que no son imputables directamente a una única unidad de obra, sino al conjunto o parte de la obra completa. Estos costes indirectos se aplicarán mediante un porcentaje sobre los CDE, dicho porcentaje será igual para todas las unidades del proyecto y dependerá de la naturaleza de la obra, la importancia del presupuesto y de su plazo de ejecución. Los conceptos imputables de manera indirecta se clasifican en:

- Mano de obra indirecta
- Medios auxiliares: mano de obra auxiliar, materiales auxiliares, maquinaria, útiles y herramientas
- Instalaciones accesorias y complementarias
- Personal técnico y administrativo

- Varios: gastos fungibles y otros consumos imputables a la actividad de las oficinas y almacenes de obra.

El desarrollo de estos conceptos es el punto de partida del procedimiento que nos permite establecer el porcentaje de CIE de aplicación a los precios unitario complejos calculados. Para garantizar la coherencia de la estructura interna del modelo, a la vez que se facilita el procedimiento de cálculo de los CIE, se emplea una tabla instrumental (Tabla 5.6) en la que quedan reflejados todos los componentes secundarios que constituyen cada uno de los conceptos imputables por vía indirecta anteriormente relacionados.

A continuación se describe el proceso de cálculo de los costes indirectos de ejecución a través de la tabla instrumental. Se comienza obteniendo las cantidad de cada concepto secundario contenido dentro de los conceptos principales (mano de obra indirecta, medios auxiliares,...) que corresponde a la columna E de la Tabla 5.6. El importe de los conceptos secundarios (columna G) resulta de multiplicar la cantidad de cada concepto (columna E) por el precio por unidad de medida (columna F) de cada concepto secundario. La columna H está destinada al porcentaje de costes indirectos calculado para cada uno de los conceptos secundarios y se obtiene dividiendo cada uno de los importes obtenido en la columna F entre el importe de CDE total estimado del proyecto.

Concluida la obtención de los conceptos secundarios se calculan los conceptos principales, comenzando por el sumatorio de los importes parciales situados en la columna G, disponiéndose el resultado en el espacio C de cada concepto principal. A continuación se obtiene el porcentaje de costes estimados para cada concepto principal (espacio D), para lo cual pueden emplearse dos caminos, dividiendo el resultado del espacio C entre el importe de CDE total estimado para el proyecto o sumando los valores parciales de la columna H correspondiente a los conceptos secundarios pertenecientes al concepto principal. Con este doble cálculo se comprueba la coherencia del modelo y la ausencia de errores en las operaciones. El importe total de CIE (espacio A) se obtiene al sumar los importes parciales de los conceptos principales de los espacios C de la tabla.

Con la utilización de la tabla instrumental (Tabla 5.6) queda asegurada la coherencia interna del modelo, pues se cumple el postulado esencial del mismo en el que se establece que la suma de los costes indirectos asignados a cada unidad de obra debe ser igual a la suma de los costes estimados para cada uno de los conceptos definidos como CIE.

CÓDIGO	CONCEPTO	Unidad	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	% S/CDE				
C12	COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CIE)				A	B				
C121	MANO DE OBRA INDIRECTA				C	D				
C1211	Encargado	mes	E	F	G	H				
C1212	Capataces	mes								
C1213	Almaceneros	mes								
C1214	Guardería y Listeros	mes								
C1215	Otros									
C122	MEDIOS AUXILIARES				C	D				
C1221	Mano de Obra Auxiliar		E	F	G	H				
C12211	Personal transporte interior	m ²								
C12212	Personal de limpieza general y regado	m ²								
C12213	Recogida, transp. de útiles y herramientas	m ²								
C12214	Otros									
C1222	Materiales Auxiliares									
C12221	Pasta parafijación reglas	m ²								
C12222	Ladrillos y pastas elementos provisionales	m ²								
C12223	Materiales para replanteos	m ²								
C12224	Agua	m ³								
C12225	Otros									
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas									
C12231	Medios de Elevación									
C122311	Grúa	mes								
C122312	Montaje y desmontaje grúas	u.								
C122313	Manipulador telescópico	mes								
C122314	Plataformas elevadoras	mes								
C122315	Montacargas	mes								
C12232	Hormigoneras	mes								
C12233	Cortadoras	mes								
C12234	Andamios	m ²								
C12235	Herramientas	m ²								
C12236	Otros	mes								
C123	INSTALACIONES, ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS								C	D
C1231	Casetas de obra						E	F	G	H
C12311	Oficinas	m ²								
C12312	Sala de Reuniones	m ²								
C12313	Almacenes	m ²								
C1232	Acometidas y Tendidos Provisionales									
C12321	Acometida de Electricidad	u								
C12322	Acometida de Agua y Saneamiento	u								
C12323	Tendido Eléctrico	u								
C12324	Instalación Provisional de Agua	u								
C1233	Viales, Localizaciones y Replanteos	u								
C1234	Consumos	u								
C1235	Consumo Eléctrico	m ²								
C1236	Otros									
C124	PERSONAL				C	D				
C1241	Técnicos Adscritos a la Obra		E	F	G	H				
C12411	Jefe de Obra	mes								
C12412	Jefe de Producción									
C12413	Técnicos Auxiliares	mes								
C1242	Administrativos adscritos a la obra	mes								
C1243	Otros									
C125	VARIOS				C	D				
C1251	Gastos de Oficinas y Almacenes de Obra		E	F	G	H				
C12511	Gastos de Oficinas	mes								
C1252	Otros									
C1253	Superficie de parcela	m ²								

Tabla 5.6. Tabla instrumental para el cálculo de Constes Indirectos de Ejecución. (Ramírez de Arellano, 2004)

5.1.3. Definición del contorno de los precios de recuperación

Cómo se ha venido especificando desde el estado de la cuestión, el modelo de viabilidad desarrollado se alimenta del banco de costes de obra de recuperación (BCCR) elaborado en la presente tesis, el cual se sustenta en la clasificación sistemática del BCCA, lo que ha permitido obtener un modelo con una estructura estable y consolidada que no deja lugar a duda de su fiabilidad.

Al igual que ocurre con los precios elaborados en el BCCA para obra nueva, los precios de obra de recuperación desarrollados no pueden ser concebidos como válidos para cualquier situación. No obstante, los precios relativos a obras de edificación de nueva planta pueden ser utilizados en una banda de situaciones bastante amplia, pero no ocurre igual con los precios de obras de recuperación que, por sus peculiaridades requieren un tratamiento, no sólo de cada obra en particular, sino de cada unidad de obra específica. Es por ello que se hace indispensable la redacción del presente apartado, donde se definen las condiciones que definen el contorno de los precios elaborados en el BCCR, estableciéndose un procedimiento que permite tomar en consideración las particularidades que encierran este tipo de obra, comenzando por:

1. Definir la situación actual del edificio en el que se realizan las actuaciones de recuperación, en función de un edificio de referencia, para poder contar así con un orden de magnitud del que partir ante la singularidad de las actuaciones de recuperación. Esta singularidad imposibilita que la repetición de la actuación sea sistemática, aunque las características tipológicas y constructivas del edificio sean similares, lográndose por tanto a través de los precios de recuperación creados una aproximación o estimación de los costes.
2. Definir los procesos de actuación de las intervenciones llevadas a cabo en la recuperación, los cuales son más complejos y difieren de los procesos de actuación sobre los mismos elementos en el caso de obra nueva. Esta diferencia entre procesos de recuperación y nueva construcción comienzan por la necesidad de realizar previamente determinadas labores antes de la inclusión de nuevos componentes, a continuación se puntualizan esas labores previas:
 - 2.1. Apertura de huecos, demolición o retirada de elementos existentes para poder realizar la actuación de recuperación. Ejemplo de esto sería la necesidad de abrir huecos en el forjado para poder actuar sobre arquetas a rehabilitar.
 - 2.2. Transformación sobre elementos constructivos del edificio para poder llevar a cabo la actuación. Por ejemplo, apertura de huecos en forjados para paso de nuevas instalaciones.
 - 2.3. Implantación de nuevos elementos, este es el único punto donde la actuación de recuperación guarda alguna relación con la nueva planta, puesto que con los puntos anteriores ya se han solventado las problemáticas surgidas ante la actuación en un edificio existente.

2.4. Terminación de la actuación mediante remates de acabados y revestimientos para dejar el elemento en perfectas condiciones de uso e integrado en el edificio.

El procedimiento descrito desvela las connotaciones especiales de las actuaciones de recuperación, lo que justifica que la BCCR se haya resuelto con precios unitarios complejos. Estos se engloban en el subcapítulo recuperaciones de cada capítulo desarrollado en la clasificación sistemática del BCCA, tomando en consideración que, debido a la particularidad de los precios complejos arriba referida, algunos de los capítulos del BCCA no se emplean en la base de costes de recuperación ya sea porque no se consideran actuaciones en los mismos o bien porque ya están incluidas en los precios complejos de otros capítulos, como revestimientos, pinturas, vidrios, etc. A continuación se detallan los capítulos que componen el banco de costes de recuperación (BCCR) y se justifica aquellos que se excluyen por estar embebidos en los PUC de otros capítulos:

Capítulo 03. CIMENTACIONES. Se desarrolla para casos particulares de recuperación (Recalce).

Capítulo 04. SANEAMIENTO. Se ha realizado el estudio de costes mediante precios complejos de recuperación incorporando en los PUC elementos de otros capítulos (Demoliciones, Acondicionamiento de terrenos, Revestimientos, etc).

Capítulo 05. ESTRUCTURAS. Se desarrolla para casos particulares de recuperación (Refuerzos).

Capítulo 06. ALBAÑILERÍA. En este capítulo se desarrolla gran parte del estudio de costes, incorporando en los PUC elementos de otros capítulos (Aislamientos, Revestimientos, Pinturas, etc.). Cuando se acometa intervención sobre los cerramientos, se realiza una recuperación energética del mismo que permite elevar en al menos dos letras la calificación energética del edificio.

Capítulo 07. CUBIERTAS. Incorpora en los PUC elementos de otros capítulos (Aislamientos, Revestimientos, Pinturas, etc.). En las cubiertas, al ser parte integrante de la envolvente se toma el mismo criterio que en los cerramientos, realizándose recuperación energética cuando se efectúe intervención sobre la misma.

Capítulo 08. INSTALACIONES. Se ha realizado el estudio de costes mediante PUC de recuperación incorporando en estos elementos de otros capítulos (Demoliciones, Aislamientos, Revestimientos, Pinturas, etc.).

Capítulo 11. CARPINTERÍA Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN. Se considera la sustitución, cuando sea preciso, de las carpinterías exteriores que forman parte de la envolvente por carpinterías que permitan mejorar la calificación energética del edificio. La carpintería interior está incluida en los PUC de albañilería.

Capítulo 17. GESTIÓN DE RESIDUOS. Acoge los residuos producidos por la recuperación, considerándose los costes derivados de la gestión de los mismos.

Los capítulos 01. DEMOLICIONES Y TRABAJOS PREVIOS, 02. ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS, 09. AISLAMIENTOS, 10. REVESTIMIENTOS, 12. VIDRIERÍA Y ELABORADOS SINTÉTICOS y 13. PINTURAS, no se contemplan en el BCCR por estar sus contenidos incluidos como parte de los procesos de actuación en los PUC de los capítulos relacionados anteriormente.

Edificio de referencia

Ante la inabarcable casuística que puede surgir en las obras de recuperación, a la hora de abordar los precios se han tomado una serie de criterios simplificadores, estos permiten marcar los márgenes en los que se mueven los precios creados en el banco de recuperación. Se considera que del análisis de los precios complejos que constituyen el BCCR se pueden deducir las hipótesis tomadas para su elaboración sin necesidad de hacer referencias explícitas de ellas, no obstante parece oportuno clarificar los aspectos más fundamentales que se entiende pueden inducir a interpretaciones erróneas.

En principio se desarrollan los conceptos que de un modo general afectan a todos los precios, para a continuación pasar a aquellas particularidades específicas que puedan presentar cada capítulo, subcapítulo y apartado. Estas hipótesis se realizan sobre aquellos aspectos que se consideran de influencia en este tipo de obras:

- Edificio: tipología de edificio residencial de tres a cuatro plantas de altura sobre rasante y sin sótano (Alba-Rodríguez et al. 2013).
- Estado de conservación: presenta un mal estado de conservación aunque razonablemente recuperable. No contiene elementos singulares que requieran labores específicas o técnicas de restauración. Antigüedad de 40 a 100 años.
- Ocupación: en el momento de la intervención el edificio se encuentra desocupado.
- Entorno: edificio ubicado en un entorno urbano, con acerado suficiente para albergar cajón de obra y circulación peatonal simultáneamente.
- Organización de la obra: no puede emplazarse grúa por lo que para los movimientos verticales se utilizan montacargas, plataformas, etc. Los movimientos horizontales en planta baja se realizan con medios mecánicos y en plantas superiores con medios manuales.
- Intervenciones de recuperación: se actúa sobre la totalidad del edificio. Realizándose precios de reparaciones de cimentación, consolidaciones estructurales puntuales, reparación y/o sustitución de saneamiento, reparación de grietas, fisuras y humedades en fábricas, reposiciones y reparaciones en cubiertas, sustitución y/o nueva implantación de instalaciones y carpinterías. Con el objeto de aproximar al máximo la estimación de costes, deberá indicarse el grado de actuación de cada intervención, estos porcentajes se especifican para cada actuación en el siguiente apartado denominado desarrollo por capítulos.
- Gestión de residuos: en los precios de recuperación creados, tanto los precios unitarios complejos como en los precios unitarios simples que forman el descompuesto de los anteriores, no se han considerado los trabajos correspondientes a carga y transporte a vertedero de los residuos generados, por

considerarse estas actividades parte de la gestión de residuos tratada de manera independiente en el Capítulo 17: Gestión de Residuos.

Desarrollo por capítulos

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
03. Cimentación		
Reparación de zapata	Recalce de zapata por micropilotaje	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
04. Saneamiento		
Arquetas	Reparación de impermeabilización	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Sustitución y reposición	
	Arqueta nueva	
Colectores	Sustitución y reposición	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Bajantes	Sustitución y reposición	
05. Estructuras		
Forjado	Reparación de capa de compresión	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
06. Albañilería		
Cerramiento de ladrillo	Reparación de fisuras	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación de grietas	Superficie dañada ≤60% 1 a 60
		Sup. dañada >60%. Mejora energética 61 a 100
	Reparación de humedades en suelo	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Distribución de tabiquería (particiones)	Reparación de humedades en techo	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación de fisuras	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación de grietas	Superficie dañada ≤60% 1 a 60
		Sup. dañada >60%. Sustitución completa 61 a 100
Fábrica interior de ladrillo (muros de carga)	Reparación de fisuras	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación de grietas	Superficie dañada ≤60% 1 a 60
		Sup. dañada >60%. Sustitución completa 61 a 100
	Reparación de humedades en suelo	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
07. Cubiertas		
Horizontales	Reparación cubierta completa	61 a 100
	Reparación faldón	1 a 30 / 31 a 60
	Reparación encuentros con paramento	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación encuentros con cazoleta	
Inclinadas	Reparación cubierta completa	61 a 100
	Reparación faldón	1 a 30 / 31 a 60
	Reparación encuentros con paramento	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación remates	
08. Instalaciones		
Climatización	Aparatos climatización	Nueva instalación 100
	Radiadores	
Electricidad	Circuitos	Sustitución / reposición 1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Líneas de derivación	
	Puntos de luz	
	Tomas de corriente	
Fontanería	Conductor puesta a tierra	Nueva instalación 100
	Canalización agua caliente	Sustitución / reposición 1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Desagües	
	Canalización agua fría	
	Aparatos sanitarios	
Termos/calentadores	Nueva instalación 100	
11. Carpinterías		
Carpintería ligera	Sustitución y reposición	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Carpintería madera	Sustitución y reposición	
Rejas	Desmontado y reutilización Sustitución y reposición	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Accesibilidad		
Escalera	Sustitución	100
	Rectificación peldaño	
Rampa	Nueva instalación	100
Portero	Sustitución y reposición	100
Ascensor	Nueva instalación	100

Tabla 5.7. Resumen de actuaciones y grado de actuación (%) por capítulos

Capítulo 03: Cimentaciones

Tomando en consideración la tipología edificatoria y rango de antigüedad especificado en la hipótesis de referencia, en la metodología se establecen como posibles tipos de cimentación:

- Losa armada.
- Zapata de hormigón.
- Pilotes. Se contempla este tipo de cimentación profunda con el fin de hacer más completo el estudio, aunque es poco frecuente en la tipología edificatoria de referencia.

Deberá indicarse la tipología de cimentación del edificio, la fiabilidad de esta información radica en el conocimiento que se tenga de la tipología de cimentación implantada en el edificio, para lo cual sería de gran utilidad que se disponga del proyecto de ejecución original para verificación y comprobación de los datos introducidos en el modelo de cálculo. Sin embargo, dado la antigüedad que pueden tener estos edificios este no siempre va a poder ser localizado, en cuyo caso, contar con conocimientos técnicos en materia de edificación contribuye a la identificación, con mayor fiabilidad, de la tipología de cimentación mediante inspección visual de la estructura del edificio.

Subcapítulo 03R: Recuperaciones

Apartados

Las opciones de intervenciones de recuperación contempladas en el subcapítulo de recuperación de cimentación van encaminadas a solventar una escasa capacidad portante del terreno con el consecuente asiento diferencial de la cimentación. Para dar respuesta a esta problemática en la metodología se propone un único apartado: Reparación de zapata.

Actuaciones

En principio se estima que este tipo de reparaciones sean casos aislados, pero es necesario que estén presentes en la metodología ya que su repercusión es determinante tanto en el coste económico como ambiental de la recuperación de edificios, cómo se demuestra en la validación del modelo. Del mismo modo, debido al comportamiento monolítico de la losa de cimentación y la robustez que caracteriza a los pilotes, se determina que en ambos casos la estabilidad de la cimentación se encuentra garantizada, proponiéndose como posible actuación:

- Recalce de zapata mediante micropilotes: esta opción se tomará cuando, tras un reconocimiento visual del inmueble, se aprecien patologías que reseñen un fallo de sustentación de la cimentación con afectación estructural. De las diversas técnicas destinadas a recuperar la interacción entre terreno y cimentación, en el modelo de evaluación se emplea el recalce por micropilotes, esta técnica busca la transmisión directa de las cargas, por lo que se considera la más idónea para

trasladar las cargas del edificio desde la cimentación al estrato competente del terreno (Herbst, 2007).

Grados de actuación

En caso de ser necesaria la actuación de recalce de zapata mediante micropilotaje, deberá indicarse el porcentaje de cimentación del edificio afectada por el daño, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Estos grados de actuación pretenden ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los coste.

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
03. Cimentación		
Reparación de zapata	Recalce de zapata por micropilotaje	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100

Tabla 5.8. Actuaciones y grado de actuación (%). Capítulo 03: Cimentaciones

Capítulo 04: Saneamiento

Partimos de la hipótesis inicial de que la acometida domiciliar presenta un correcto funcionamiento con características técnicas y dimensiones normalizadas, no siendo necesario la intervención en la acometida, por tanto las actuaciones contempladas en los precios de recuperación comprenden desde la arqueta sifónica hasta el último punto de desagüe conectado.

La verificación del estado de la red de saneamiento no siempre es inmediata, salvo casos evidentes de riesgos higiénico-sanitarios por filtraciones de aguas fecales por interrupción o conexiones deficientes de los colectores que componen la red de saneamiento, siendo necesaria la apertura de catas para la verificación del estado de la red. Los trabajos de inspección y diagnosis mediante equipos de alta tecnología no están contemplados en los precios desarrollados.

La disposición de la red de saneamiento en el edificio es un condicionante a tener en cuenta a la hora de establecer los procesos constructivos, tanto durante los trabajos previos como durante los trabajos de reparación y reposición de los elementos de la red a su estado inicial, por lo que en la elaboración de los precios se han tenido en cuenta los procesos de ejecución necesarios en función de dicha disposición.

Subcapítulo 04R: Recuperaciones

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
04. Saneamiento		
Arquetas	Reparación de impermeabilización	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Sustitución y reposición	
	Arqueta nueva	
Colectores	Sustitución y reposición	
Bajantes	Sustitución y reposición	

Tabla 5.9. Actuaciones y grado de actuación (%). Capítulo 04: Saneamiento

Apartados

El subcapítulo de recuperación de saneamiento se ha estructurado en tres apartados, en función del elemento sobre el que se realiza la actuación (Tabla 5.9):

- Arquetas
- Colectores
- Bajantes

Actuaciones

- Arquetas:

Las actuaciones sobre las arquetas de saneamiento consideradas en el modelo por ser las más habituales en obras de recuperación son:

- Reparación de impermeabilización: esta actuación se realizará cuando la arqueta haya perdido la estanqueidad, produciéndose fugas y filtraciones de las aguas residuales.
- Sustitución y reposición: por encontrarse estas en un deficiente estado de conservación debido al envejecimiento y progresivo deterioro, por rotura y desplazamiento de la misma o por no cumplir las condiciones de uso idóneas, imposibilitando el correcto funcionamiento de la red de saneamiento.
- Arqueta nueva: esta actuación se seleccionará cuando se requiera la ampliación de la red de saneamiento existente por ser esta insuficiente, mediante ejecución de nuevas arquetas de paso. El precio creado para ampliación de red lleva repercutido la parte proporcional del nuevo colector necesario para conectar la nueva arqueta a la red existente.

La ejecución de las nuevas arquetas, ya sea por sustitución y reposición de la existente o por necesidad de ampliación de red, se realizan "in situ" de ladrillo, esto se debe a que este sistema permite adaptar la arqueta al limitado espacio del que se dispone en obras de recuperación.

- Colectores:

En el caso de los colectores se establece como única actuación la sustitución y reposición de los mismos, por encontrarse estos en un deficiente estado de conservación o no cumplir con el diámetro suficiente para asegurar la correcta evacuación de las aguas.

La actuación de sustitución y reposición de colectores presenta tres variantes, pudiendo seleccionarse el material del nuevo colector a implantar en función de su impacto ambiental (Tabla 5.10). Los materiales de los colectores propuestos son polietileno, hormigón y fibrocemento NT (libre de amianto). La información relativa al impacto ambiental del material se expresa kilos de CO₂ emitidos por kg de material (kgCO₂/kg) y en kg de CO₂ por metro (kgCO₂/m), facilitando así una visión global y

unitaria del impacto ambiental ocasionado durante el proceso de producción de los materiales.

▪ **Bajantes:**

Al igual que en el apartado anterior, en el caso de los bajantes se establece como única actuación su sustitución y reposición cuando presenten un deficiente estado de conservación, considerando su longitud desde la unión con la cazoleta de cubierta hasta la unión con el codo de entrada a la arqueta a pie de bajante. No está considerada en dicha actuación la sustitución y reposición de la cazoleta, por lo que en caso de considerarse necesaria dicha actuación, deberá indicarse en el capítulo de cubierta la sustitución de la cazoleta y como consecuencia la reparación del encuentro de la misma con la cubierta.

A pesar de contar con sólo una actuación, al igual que en el apartado anterior, se despliegan en el caso de los bajantes dos opciones de materiales, polipropileno o fibrocemento NT (libre de amianto), mostrando del mismo modo la información relativa al impacto ambiental de los materiales (Tabla 5.10).

Código	Unidad	Descripción	kgCO ₂ /m	kgCO ₂ /kg
Colectores				
IF92960	m	Tubo polietileno alta densidad diám 20x2 mm	0,23	1,885
SC02800	m	Tubo hormigón diám. 200 mm	10,81	0,225
SC02100	m	Tubo fibrocemento NT diám. 200 mm	30,10	0,783
Bajantes				
SB03420	m	Tubo polipropileno diám 125 mm	3,40	2,079
SB00600	m	Tubo fibrocemento NT diám. 150 mm	22,57	0,783

Tabla 5.10. Emisiones de CO₂ de materiales. Capítulo 04: Saneamiento

Debido a la antigüedad del edificio de referencia, se considera que tanto los colectores como los bajantes existentes originariamente en el edificio son de fibrocemento con contenido de fibras de amianto, por lo que, en caso de ser necesario su retirada, se ha tenido en cuenta el tratamiento reglamentario del amianto como RCD y desde el punto de vista de su manipulación para garantizar la seguridad y la salud de los trabajadores (Real Decreto 396/2006).

Es necesario especificar que las nuevas canalizaciones de fibrocemento contempladas en las soluciones constructivas propuestas, tanto en colectores como en bajantes, no están fabricados con fibras de amianto, prohibido por la normativa actual, sino con fibras no perniciosas para la salud (fibrocemento NT).

Grados de actuación

De aplicarse alguna de las actuaciones especificadas anteriormente sobre la red de saneamiento, en cualquiera de sus apartados (arquetas, colectores, bajantes), deberá indicarse el porcentaje de elementos de la red afectada por el daño, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Estos grados de actuación pretenden ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los costes.

CAPÍTULO 05: Estructuras

En el caso específico de los forjados, por la trascendencia económica que puede suponer, es necesario puntualizar que se parte del supuesto de forjados horizontales unidireccionales con cargas normales y luces medias en torno a 4 m, no siendo válido este precio para luces distintas.

Subcapítulo 05R: Recuperaciones

Apartados

El único apartado sobre el que se realiza actuaciones en el capítulo de estructura son los forjados, más concretamente y debido a las características del edificio de referencia, forjado horizontal unidireccional con viguetas auto portantes.

Actuaciones

La actuación a realizar sobre el forjado consiste en la reparación de la capa de compresión, mediante la subsanación de la aparición de grietas producidas en la dirección de las viguetas como consecuencia de algún movimiento de la estructura del edificio, sin que llegue a ocasionar un fallo en la capacidad auto portante de los elementos del forjado (Aragon, 2010). Dado que la afectación de las grietas no repercute en el metro cuadrado completo de la capa de compresión, sino que se estima que para su reparación se requiere realizar las actuaciones en aproximadamente un tercio del metro cuadrado, al precio de reparación de este capítulo se le afecta de un coeficiente de minoración que reduce los recursos empleados a un tercio del metro cuadrado.

Grados de actuación

De llevarse a cabo la actuación sobre el forjado, deberá indicarse el porcentaje de superficie de forjado afectado por el daño, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Estos grados de actuación pretenden ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los costes.

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
05. Estructuras		
Forjado	Reparación de capa de compresión	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100

Tabla 5.11. Actuaciones y grado de actuación (%). Capítulo 05: Estructuras

CAPÍTULO 06: Albañilería

La larga tradición arquitectónica sevillana basada en la construcción con ladrillo cerámico, unido a las características tipológicas del edificio de referencia, condicionan que el presente capítulo dedicado a la albañilería, tanto los muros de carga portantes como la distribución de tabiquería interior, se consideren ejecutadas en fábrica de ladrillo.

Subcapítulo 06R: Recuperaciones

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
06. Albañilería		
	Reparación de fisuras	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Cerramiento de ladrillo	Reparación de grietas	Superficie dañada ≤60%
		Sup. dañada >60%. Mejora energética
	Reparación de humedades en suelo	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación de humedades en techo	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Distribución de tabiquería (particiones)	Reparación de fisuras	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación de grietas	Superficie dañada ≤60%
		Sup. dañada >60%. Sustitución completa
Fábrica interior de ladrillo (muros de carga)	Reparación de fisuras	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación de grietas	Superficie dañada ≤60%
		Sup. dañada >60%. Sustitución completa
	Reparación de humedades en suelo	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100

Tabla 5.12. Actuaciones y grado de actuación (%). Capítulo 06: Albañilería

Apartados

Los apartados que constituyen el subcapítulo recuperaciones de albañilería se desarrollan considerando por el exterior cerramiento de ladrillo portante y por el interior fábricas de ladrillo pudiendo ser estas portantes cuando se refieran a muros de carga interior o no portantes cuando se refieran a distribución de tabiquería interior (particiones), quedando estos apartados descritos de la siguiente manera dentro del modelo:

- Cerramientos de ladrillo
- Distribución de tabiquería (particiones)
- Fábricas interiores de ladrillo (muros de carga)

Actuaciones

Las actuaciones a realizar sobre los apartados de albañilería propuestos van encaminados a subsanar patologías de diverso origen, por un lado se propone actuar sobre fisuras o grietas que pudiesen surgir en los elementos de fábrica a causa de movimientos estructurales en el edificio. Y por otro lado, se plantea la subsanación de lesiones causadas en las fábricas por presencia de humedad, ya sean por capilaridad o por filtraciones de cubiertas. En ambos casos las actuaciones proyectadas pretenden devolver el estado de servicio inicial de las fábricas, pero en el caso concreto de los cerramientos exteriores se plantean actuaciones de mejora del estado inicial mediante la rehabilitación energética de la envolvente. En el caso de la tabiquería interior, cuando presenten un elevado porcentaje de grietas, se propone la sustitución completa de la misma (Barrios Sevilla, 1994).

A continuación se puntualizan las actuaciones llevadas a cabo en cada apartado:

- Cerramiento de ladrillo:
 - Reparación de fisuras o grietas: se considera fisura cuando estas sean de escaso calado, sin afección estructural ya que son de poca profundidad sin alcanzar el espesor total de la fábrica. Se resuelven mediante resanados de borde de fisura y

colocación de malla de fibra de vidrio (Araiza, 2005), incorporando medios auxiliares para los trabajos en altura al exterior de la fachada.

Se califica como grieta cuando sean de gran calado, con afectación estructural ya que son de gran profundidad llegando a alcanzar el espesor total de la fábrica, con la consecuente pérdida en la homogeneidad del muro portante, lo que afecta a la correcta transmisión de las cargas, creándose puntos con sobre esfuerzos que ponen en riesgo la estabilidad estructural de la fábrica. La solución adoptada pretende recuperar la correcta transmisión de las cargas, realizando retacado de las grietas con ladrillo, devolviendo así la homogeneidad estructural a la fábrica (Orozco, 2015). Al igual que el caso anterior, se incorporan los medios auxiliares para los trabajos en altura al exterior de la fachada.

Como ya se ha indicado, en el caso de los cerramientos exteriores se plantea, no sólo devolver la fábrica a su estado inicial, sino que se realiza la reparación sobre el elemento y se mejora energéticamente la solución de cerramiento existente. Se dan tres opciones de recuperación energética en las que varían la solución de revestimiento exterior y el material aislante (Ecoinvent database, 2015):

- **Mejora energética con aislamiento EPS. Cara exterior fachada con revestimiento continuo:** recuperación energética por el exterior con revestimiento continuo y aislamiento con planchas rígidas de poliestireno expandido (EPS)
- **Mejora energética con aislamiento EPS. Cara exterior fachada ventilada:** recuperación energética de cerramiento de fachada por el exterior para fachada ventilada y aislamiento con planchas rígidas de poliestireno expandido (EPS)
- **Mejora energética con aislamiento lana de oveja. Cara exterior fachada ventilada:** recuperación energética de cerramiento de fachada por el exterior para fachada ventilada y aislamiento con lana de oveja.

Estas actuaciones especifican dos materiales de aislamiento distintos, lo que permite que se seleccione la solución a implantar en función del impacto ambiental de los materiales. Como puede deducirse de las soluciones constructivas descritas, los materiales aislantes propuestos son poliestireno expandido (EPS) y lana de oveja. La información relativa a la sostenibilidad del material se expresa en kilos de CO₂ emitidos por kilo de material (kgCO₂/kg), para ambos aislantes. También se aporta la información de emisiones en kilos de CO₂ por metro cúbico (kgCO₂/m³) en el caso del EPS y en kilos de CO₂ por metro cuadrado (kgCO₂/m²) en el caso de la lana de oveja, facilitando así una visión global y unitaria de las emisiones generadas durante la producción de los materiales (Tabla 5.13).

Código	Unidad	Descripción	kgCO ₂ /ud medida	kgCO ₂ /kg
Energía incorporada de materiales				
XT15000	m ³	Poliestireno planchas rígidas, dens. 15 kg/m ³	58,99	kgCO ₂ /m ³ 3,933
XI90100	m ²	Lámina lana de oveja 60mm	0,008	kgCO ₂ /m ² 0,01

Tabla 5.13. Emisiones de CO₂ de materiales. Capítulo 06: Albañilería

Grado de actuación: en este caso el grado porcentual de la actuación es el 100%, ya que la actuación de rehabilitación energética se realiza sobre la totalidad de la superficie de cerramiento.

· Reparación de humedades en suelo:

Esta actuación se llevará a cabo cuando la humedad presente en el terreno ascienda por capilaridad por los muros de fábrica portantes hasta una cierta altura. Se realiza mediante formación de barrera anticapilaridad por electro-osmosis-foresis (sistema Traber) (Ferrer, 2007). La altura que alcanza la lesión depende de factores como la porosidad del material, evaporación y el porcentaje de humedad del terreno, se establece que podrán encontrarse muros afectados de humedad por capilaridad en los primeros 60 o 70 cm de muro.

Grado de actuación: deberá indicarse el porcentaje de superficie de cerramiento afectado de humedad por capilaridad, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Estos grados de actuación permiten ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los costes.

· Reparación de humedades en techo:

Se considera esta actuación cuando la humedad sobre la fábrica se deba a la filtración de agua por mal estado de cubiertas planas o inclinadas, llegando a alcanzar estas filtraciones en torno a los 65-70 cm de muro. La actuación para la subsanación de esta patología se realiza mediante aplicación de resinas epoxi y enfoscado maestreado con mortero de drenado y anti-condensación tipo “draining” (Cuervo et al. 2009).

Grado de actuación: se indicará el porcentaje de superficie de cerramiento afectado de humedad por filtración, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Estos grados de actuación permiten ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los costes.

▪ Distribución de tabiquería (particiones):

El cambio de distribución de los espacios interiores de las viviendas no es una actuación contemplada en el modelo, ya que el objetivo es devolver el edificio a sus condiciones de servicio inicial, en cambio, se plantean las siguientes actuaciones en caso de encontrar que dicha distribución presenta las siguientes patologías:

· Reparación de fisuras:

Cuando estas sean de escaso calado, sin alcanzar el espesor total del tabique. Se resuelven mediante resanados de borde de fisura y colocación de malla de fibra de vidrio (Araiza, 2005).

Grado de actuación:

Deberá indicarse el porcentaje de superficie de tabiques afectado por fisuras, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. En el caso de indicarse que el 100% del tabique está afectado de fisuras, se entiende que no hay superficie afectada de grietas, puesto que ya se habría asignado la totalidad de superficie del tabique a la reparación de fisuras.

· Reparación de grietas:

Se considera grieta cuando estas sean de gran calado, con una profundidad que alcanza el espesor total del tabique. La solución adoptada pretende recuperar la homogeneidad del tabique realizando retacado de las grietas con ladrillo.

En este caso se plantea que, dado que el tabique no cumple función estructural, en caso de que el daño de afectación sea más del 60% de la superficie de tabique, se lleve a cabo la sustitución y reposición del mismo. Por lo que dentro de la actuación de reparación de grietas, en función del porcentaje de afectación tendremos:

- Superficie dañada $\leq 60\%$: en este caso la actuación consiste únicamente en reparar las grietas tal como se ha puntualizado, mediante retacara con ladrillo para recuperar la homogeneidad del tabique.

Grado de actuación: debe indicarse el porcentaje de superficie de tabique afectado de grietas, en este caso los grados de actuación porcentuales van de 1 a 60, esto se debe a que si se supera el 60% de superficie afectada se pasaría al siguiente supuesto, donde se plantea la sustitución completa del tabique debido al elevado porcentaje de daño que presenta.

- Superficie dañada $> 60\%$: al superar el 60% de superficie de tabique afectado por las grietas y no cumplir ninguna función estructural, se considera que es más conveniente su sustitución completa, tirándolo y levantarlo de nuevo sin modificar su disposición dentro del edificio. El precio elaborado para esta actuación también contempla la reposición de las puertas de pasos en los nuevos tabiques ejecutados.

Grado de actuación: debe indicarse el porcentaje de superficie de tabique afectado por las grietas, en este caso los grados de actuación porcentuales van de 61 a 100, esto se debe a que si no se supera el 60% de superficie afectada correspondería con el supuesto anterior de reparación de grietas y no sustitución completa de tabique.

▪ Fábricas interiores de ladrillo (muro de carga interior):

· Reparación de fisuras:

Se considera fisura cuando estas sean de escaso calado, sin afección estructural ya que son de poca profundidad sin alcanzar el espesor total de la fábrica. Se resuelven mediante resanados de borde de fisura y colocación de malla de fibra de vidrio.

Grado de actuación: deberá indicarse el porcentaje de superficie de muro afectado de fisuras, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. En el caso de indicarse que el 100% del muro está afectado de fisuras, se entiende que no hay superficie afectada de grietas, puesto que ya se habría asignado la totalidad de superficie del muro a la reparación de fisuras.

· Reparación de grietas:

Se considera grieta cuando estas sean de gran calado, con afectación estructural ya que son de gran profundidad llegando a alcanzar el espesor total de la fábrica, con la consecuente pérdida en la homogeneidad del muro portante, lo que afecta a la correcta transmisión de las cargas, creándose puntos con sobre esfuerzos que ponen en riesgo la estabilidad estructural de la fábrica. La solución adoptada pretende recuperar la correcta transmisión de las cargas, realizando retacado de las grietas con ladrillo, devolviendo así la homogeneidad estructural a la fábrica.

Se plantea que en caso de que el daño de afectación sea más del 60% de la superficie de muro, se lleve a cabo la sustitución y reposición del mismo. Por lo que dentro de la actuación de reparación de grietas, en función del porcentaje de afectación tendremos:

- Superficie dañada \leq 60%: en este caso la actuación consiste únicamente en reparar las grietas tal como se ha puntualizado, mediante retacara con ladrillo para recuperar la capacidad portante de la fábrica.

Grado de actuación: debe indicarse el porcentaje de superficie de muro afectado de grietas, en este caso los grados de actuación porcentuales van de 1 a 60, esto se debe a que si se supera el 60% de superficie afectada se pasaría al siguiente supuesto, donde se plantea la sustitución completa del muro debido al elevado porcentaje de daño que presenta.

- Superficie dañada $>$ 60%: al superar el 60% de superficie de muro afectado por las grietas, se considera que es más conveniente su sustitución completa, tirándolo y levantarlo de nuevo, para lo cual se han contemplado, dado el carácter estructural del elemento, todos los apeos, apuntalamientos y medios necesarios para asegurar la estructura durante la demolición y reposición del muro.

Grado de actuación: debe indicarse el porcentaje de superficie de muro afectado por las grietas, en este caso los grados de actuación porcentuales van de 61 a 100, esto se debe a que si no se supera el 60% de superficie afectada correspondería con el supuesto anterior de reparación de grietas y no sustitución completa del muro.

· Reparación de humedades en suelo:

Esta actuación se llevará a cabo cuando la humedad presente en el terreno ascienda por capilaridad por los muros de fábrica portantes hasta una cierta altura. Se realiza mediante formación de barrera anticapilaridad por electroosmosis-foresis (sistema Traber) (Ferrer, 2007). La altura que alcanza la lesión depende de factores como la porosidad del material, evaporación y el porcentaje de humedad del terreno, se establece que podrán encontrarse muros afectados de humedad por capilaridad en los primeros 60 o 70 cm de muro.

Grado de actuación: deberá indicarse el porcentaje de superficie de cerramiento afectado de humedad por capilaridad, estableciéndose estos grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Estos grados de actuación permiten ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los costes.

En el capítulo de albañilería, a todas las actuaciones de reparación de fisuras, grietas y humedades se les ha creado un precio por metro cuadrado de fábrica reparada, dado que la afectación tanto de las fisuras y grietas como de las humedades nunca repercuten en el metro cuadrado completo, sino que se estima que para su reparación se requiere realizar las actuaciones en aproximadamente un tercio del metro cuadrado, levantando en el m² un tercio de revestimientos alrededor de la patología, sobre el que se aplicará el tratamiento de reparación y se repondrá el revestimiento retirado. Por ello, todos los precios de reparación de este capítulo se encuentran afectados de un coeficiente de minoración que reduce los recursos empleados a un tercio del metro cuadrado.

CAPÍTULO 07: Cubiertas

Deberá indicarse la tipología de cubierta presente en el edificio, pudiendo ser cubierta plana o inclinada. En caso de existir en el edificio ambas tipologías de cubierta se establecerá como opción la tipología de cubierta que mayor superficie ocupe en el edificio.

Subcapítulo 07R: Recuperaciones

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
07. Cubiertas		
Horizontales	Reparación cubierta completa	61 a 100
	Reparación faldón	1 a 30 / 31 a 60
	Reparación encuentros con paramento	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación encuentros con cazoleta	
Inclinadas	Reparación cubierta completa	61 a 100
	Reparación faldón	1 a 30 / 31 a 60
	Reparación encuentros con paramento	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Reparación remates	

Tabla 5.14. Actuaciones y grado de actuación (%). Capítulo 07: Cubiertas

Apartados

El subcapítulo de recuperación de cubiertas, como ya se ha puntualizado, se ha estructurado en dos apartados, en función de la tipología de cubierta existente en el edificio:

- Cubierta horizontal
- Cubierta inclinada

Actuaciones

Para abordar las actuaciones a llevar a cabo sobre el subcapítulo recuperaciones de cubiertas, se aplica el mismo criterio tomado por el BCCA en obra nueva, consistente en no incluir en los precios de faldones la ejecución de encuentros, remates, juntas, limas y demás puntos singulares de las cubiertas, de esta manera es posible actuar independientemente sobre estos elementos considerados más vulnerables y sobre los que pueden aparecer patologías puntuales a tratar. En cualquier caso las actuaciones planteadas, ya sean sobre faldones o encuentros, pretenden subsanar las patologías existentes en la cubierta y mejorar el estado inicial de la misma mediante su rehabilitación energética.

A continuación se especifican las actuaciones programadas para las dos tipologías de cubierta propuestas:

- Cubiertas horizontales
 - Reparación de faldón: se realiza mediante el levantado de todas las capas que constituían la cubierta original hasta el soporte resistente y ejecutando un nuevo faldón con todas sus capas. La nueva solución a implantar consiste en una cubierta horizontal invertida, se ha decidido esta tipología por disponerse el aislante sobre la impermeabilización, quedando protegida la impermeabilización de posibles punzonamientos y las consecuentes filtraciones de agua. Como ya se ha introducido, la solución que se plantea incluye la mejora energética de la cubierta.

Se dan dos opciones de recuperación energética en las que se permite escoger al usuario el material aislante empleado en la solución de cubierta:

- **Mejora energética con aislamiento EPS:** recuperación energética de cubierta plana invertida con planchas rígidas de poliestireno expandido (EPS)
- **Mejora energética con aislamiento XPS:** recuperación energética de cubierta plana invertida con planchas rígidas de poliestireno extruido (XPS)

Estas actuaciones especifican dos materiales de aislamiento distintos, lo que permite que se seleccione la solución a implantar en función del impacto ambiental de los materiales. Como puede deducirse de las soluciones constructivas descritas, los materiales aislantes propuestos son poliestireno expandido (EPS) y poliestireno extruido (XPS). La información relativa a la sostenibilidad de los materiales se expresa en kilos de CO₂ por kilo de material (kgCO₂/kg) para ambos aislantes, también se aporta la información ambiental en kilos de CO₂ por metro cúbico (kgCO₂/m³), facilitando así una visión global y unitaria de las emisiones generadas en la producción de los materiales.

Código	Unidad	Descripción	kgCO ₂ /m ³	kgCO ₂ /kg
Energía incorporada de materiales				
XT19000	m ³	Poliestireno expandido EPS en plancha, resist.	234,30	2,929
XT13825	m ³	Poliestireno extruido en planchas 80 mm	314,600	3,930

Tabla 5.15. Emisiones de CO₂ de materiales. Capítulo 07: Cubiertas

Grado de actuación: en este caso el grado porcentual de la actuación es el 100%, ya que la actuación de rehabilitación energética se realiza sobre la totalidad de la superficie de cubierta.

· Reparación de encuentros con paramentos: como ya se ha puntualizado al comienzo del presente capítulo, en la actuación sobre el faldón no se incluyen los encuentros de la cubierta, de manera que estos puedan ser tratados independientemente debido a su consideración de puntos de gran vulnerabilidad en las cubiertas. Las actuaciones a realizar sobre los encuentros con paramentos pretender solucionar las filtraciones que pudiesen ocasionarse, de manera que al igual que ocurre en el faldón, se plantea el levantado selectivo de las capas hasta la impermeabilización, incluidas las zabaletas, y posterior reposición de los elementos retirados para devolver al encuentro con paramento su estanqueidad.

Grado de actuación: deberá indicarse el porcentaje encuentros con paramentos afectados por el daño, estableciéndose grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100.

· Reparación de encuentros con cazoleta: al igual que ocurre en los encuentros con paramentos, los encuentros de los faldones con cazoletas son puntos críticos de las cubiertas donde suelen surgir patologías que derivan en filtraciones por la pérdida de estanqueidad de la cubierta. Se propone la sustitución de la cazoleta mediante levantado de parte de la solería colindante, retirar la cazoleta defectuosa y realizar las labores de reposición para devolver al encuentro con cazoleta su estanqueidad.

El haber aislado la actuación sobre los encuentros con cazoleta del resto de intervenciones sobre la cubierta, permite que este precio pueda ser empleado en el caso de que el técnico estime, al actuar sobre el saneamiento, que al sustituir los bajantes las cazoletas también deban ser respuesta, aunque el resto de elementos de la cubierta no requieran intervención.

Grado de actuación: deberá indicarse el porcentaje encuentros con cazoleta afectados por el daño, estableciéndose grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100.

▪ Cubiertas inclinadas

· Reparación de faldón: se realiza mediante el levantado de todas las capas que constituían la cubierta original hasta el soporte resistente, manteniendo los tabiques palomeros de formación de pendiente y ejecutando un nuevo faldón con todas sus capas, reutilizando el 70% de las tejas levantadas del faldón original, esta nueva solución implantada se realiza con aislamiento térmico sobre el forjado horizontal y los faldones mediante rasillones dispuestos en los tabiques palomeros, sobre los que irán el resto de capas de la cubierta, la solución que se plantea incluye la mejora energética de la cubierta.

Las dos opciones de mejora energética de la cubierta en las que al usuario puede escoger en función del material aislante empleado son:

· **Mejora energética con aislamiento EPS:** recuperación energética de cubierta inclinada con planchas rígidas de poliestireno expandido (EPS).

· **Mejora energética con aislamiento lana de oveja:** recuperación energética de cubierta inclinada con lana de oveja.

Como puede deducirse de las soluciones constructivas descritas, los materiales aislantes propuestos son poliestireno expandido (EPS) y lana de oveja. La información relativa a la sostenibilidad del material se expresa en kilos de CO₂ emitidos por kilo de material (kgCO₂/kg), para ambos aislantes. También se aporta la información de emisiones en kilos de CO₂ por metro cúbico (kgCO₂/m³) en el caso del EPS (Tabla 5.15) y en kilos de CO₂ por metro cuadrado (kgCO₂/m²) en el caso de la lana de oveja (Tabla 5.13), facilitando así una visión global y unitaria de las emisiones generadas durante la producción de los materiales

Grado de actuación: en este caso el grado porcentual de la actuación es el 100%, ya que la actuación de rehabilitación energética se realiza sobre la totalidad de la superficie de cubierta.

· Reparación de encuentros con paramentos: al no incluirse en la actuación sobre el faldón los encuentros de la cubierta, estos puedan ser tratados independientemente. Las actuaciones a realizar sobre los encuentros pretenden solucionar las filtraciones levantando selectivamente las capas y posteriormente reponiendo los elementos retirados para devolver al encuentro estado inicial.

Grado de actuación: deberá indicarse el porcentaje encuentros con paramentos afectados por el daño, estableciéndose grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100.

· Reparación de remates: se consideran remates de las cubiertas inclinadas los aleros, cumbreras, limatesas y limahoyas, estos remates son puntos de gran vulnerabilidad de las cubiertas donde suelen surgir patologías que derivan en filtraciones. Para solucionar las patologías surgidas se propone la sustitución de las tejas dañadas y resanado de las capas inferiores para asegurar la estanqueidad de la cubierta. Dado que la afectación sobre los remates no repercute en el metro completo, sino que se estima que afectará en aproximadamente un tercio del metro de remate, dos tejas por metro, el precio de reparación se afecta de un coeficiente de minoración que reduce los recursos empleados a un tercio del metro afectado.

Grado de actuación: deberá indicarse el porcentaje de remates afectados por el daño, estableciéndose grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100.

Tanto los encuentros con paramentos como los remates de tejas incluyen el aprovechamiento, limpieza y acopio del 70% de las tejas retiradas.

CAPÍTULO 08: Instalaciones

Debido a la particularidad que encierran los precios unitarios complejos que se elaboran en el banco de recuperación desarrollado, cabe recalcar que las ayudas de albañilería, necesarias para ejecutar las distintas instalaciones, han sido tratadas dentro de cada unidad de obra específica del precio unitario complejo. Tanto las necesarias para implantación de la nueva instalación, como las que se requieren debido a la particularidad de la obra de recuperación para desmontado, levantado o acceso a las instalaciones existentes, entre las que se engloban actividades como: apertura y posterior tapado de regolas o rozas, calos, recibido de determinados elementos, etc.

Cómo ocurre en el capítulo de saneamiento, partimos de la hipótesis inicial de que las acometidas presentan un correcto funcionamiento con características técnicas y dimensiones normalizadas, no siendo necesario la intervención en las acometidas.

Subcapítulo 08R: Recuperaciones

Apartados

Respetando la clasificación sistemática de BCCA, como se ha venido realizando a lo largo de todos los capítulos, los apartados desarrollados en el subcapítulo de recuperaciones de instalaciones coinciden con los establecidos en banco siendo estos:

- Climatización
- Electricidad
- Fontanería

La complejidad que encierra el capítulo de instalaciones, agravada por las particularidades que caracterizan a las obras de recuperación, hacen necesaria la realización de una subdivisión de los elementos constituyentes de las tres instalaciones contempladas en el modelo. De este modo, es posible abordar los diferentes elementos en función de la su afectación patológica, en la Tabla 5.16 se indican los elementos integrantes de cada instalación, así como las actuaciones y grado de actuación a realizar sobre los mismos.

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
08. Instalaciones		
Climatización	Aparatos climatización	Nueva instalación
	Radiadores	
Electricidad	Circuitos	Sustitución / reposición
	Líneas de derivación	
	Puntos de luz	
	Tomas de corriente	
	Conductor puesta a tierra	
Fontanería	Canalización agua caliente	Sustitución / reposición
	Desagües	
	Canalización agua fría	
	Aparatos sanitarios	
	Termos/calentadores	
	Nueva instalación	100

Tabla 5.16. Actuaciones y grado de actuación (%). Capítulo 08: Instalaciones

Actuaciones

▪ Climatización

· Aparatos de climatización: teniendo en cuenta la antigüedad del edificio de referencia se considera que originariamente el edificio no cuenta con instalación de climatización, por lo que se plantea la nueva instalación del sistema. Esto supone que no serán necesarias en los precios las ayudas de albañilería requeridas para eliminación de la instalación anterior, tan sólo se requieren las ayudas precisas para montar el nuevo sistema de climatización en el edificio. El sistema contemplado en la actuación consiste en unidad dividida multi-zona “multi-Split” con sistema “inverter” y bomba de calor que permite adaptar el rendimiento y optimizar el consumo a las necesidades requeridas.

En la elaboración del precio se parte de la hipótesis de que la unidad exterior puede colocarse en zona de cubierta, incluyéndose la construcción de bancada de fábrica de obra para aislar los equipos exteriores de las escorrentías de cubierta, así como los pasos de forjado y formación de falsos pilares necesarios para paso de canalizaciones.

· Radiadores: al igual que en el apartado anterior, se considera que el edificio originariamente no cuenta con instalación de calefacción por radiadores, por lo que se propone en el modelo la nueva instalación, limitándose por tanto las ayudas de albañilería repercutida en el precio al montaje de los elementos de la instalación. Se ha previsto una instalación de calefacción fija en vivienda mediante un conjunto de

radiadores conveectores distribuidos por las distintas estancias de la vivienda, incluido el baño. Las canalizaciones se han dispuesto empotradas, contemplándose en el precio la reposición de los paramentos a su estado inicial.

La alimentación de estos radiadores está prevista que se realice a través del sistema de producción de agua caliente (ACS) y calefacción con energía solar térmica, por lo que si se decide instalar radiadores en el edificio, deberá incluirse la sustitución y reposición de ACS y calefacción con energía solar térmica, en el apartado fontanería, termos/calentadores, de no ser así no se estaría considerando ningún sistema de alimentación de calefacción para los radiadores.

Grado de actuación: al considerarse que originariamente no existía en el edificio ningún tipo de instalación de climatización, en ambas actuaciones, tanto en aparatos de climatización como en radiadores los intervalos porcentuales son 0% y 100%. Estos se emplean para indicar si se realiza o no la implantación de la nueva instalación en el edificio, marcándose el cien cuando se decida implantarla y cero si por el contrario se decide no implantar la instalación

- Electricidad

- Circuitos: la actuación propuesta sobre los circuitos eléctricos se centra en la sustitución y reposición de los mismos, cuando estos se encuentren en un deficiente estado de conservación debido al desfase que sufren las instalaciones contenidas en edificios de cierta antigüedad como es el caso que nos ocupa. Los nuevos circuitos se instalan según el RBT instrucción ITC-BT 25, protegidos por un interruptor automático de corte omnipolar con accionamiento manual (protección contra sobrecargas y cortocircuitos) instalados en el cuadro general de mando y protección junto con un interruptor general y dos interruptores diferenciales de alta sensibilidad (30 mA). Al tratarse de actuaciones de sustitución y reposición, en el precio se contemplan tanto las labores necesarias para el desmontado de los circuitos existentes como la incorporación de los nuevos circuitos, incluso la reposición de los paramentos a su estado inicial.

- Líneas y derivaciones: se propone como actuación la sustitución y reposición de las líneas y derivaciones del edificio cuando estas presenten un deficiente estado de conservación, al igual que el caso anterior, por encontrarse desfasadas debido a la antigüedad del edificio de referencia. Esta intervención comprende las instalaciones necesarias para abastecer de suministro eléctrico a las viviendas y zonas comunes. Al tratarse de un precio complejo se especifican las inclusiones contenidas en el PUC, donde además de las labores de albañilería necesarias para desmontar los elementos existentes, implantación de la nueva instalación y reposición de los elementos del edificio a su estado inicial, la instalación propiamente dicha incluye: caja general de protección, línea general de alimentación, centralización de contadores y derivación individual. La hipótesis tomada para la centralización de contadores es que esta se ubicará en lugares no privativos del edificio, cumpliendo así con el REBT.

- Puntos de luz: se plantea la sustitución y reposición de los puntos de luz como actuación destinada a subsanar el desfasado estado de conservación de estos elementos de la red eléctrica del edificio, incluidas las zonas comunes en el caso de edificios plurifamiliares. Se contemplan en el precios las actuaciones de desmontado de los puntos de luz originales, colocación de los nuevos así como reposición de los paramentos a su estado inicial.

- Toma de corriente: al igual que los elementos anteriores de la red eléctrica se plantea la actuación de sustitución y reposición de las tomas de corriente, si estos elementos presentasen un mal estado de conservación. También se elaboran precios complejos que engloban todas las actuaciones, desde que se desmonta la antigua instalación hasta que se consigue devolver los paramentos a su estado original.

Grado de actuación: de realizarse la actuación propuesta sobre cualquiera de los cuatros apartados anteriores, deberá indicarse el porcentaje del elemento afectado por el daño, estableciéndose grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Los grados de actuación permiten ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los coste económico y ambiental de la intervención.

- Conductor de puesta a tierra: las instalaciones de puesta a tierra en edificios con cierta antigüedad suelen manifestar grandes deficiencias pudiendo presentar desde la interrupción del circuito, una mala conservación o incluso la ausencia de la puesta a tierra. Por ello se plantea como actuación sobre este elemento directamente la nueva instalación del mismo, asegurando así la correcta función protectora que debe cumplir este elemento de la red eléctrica.

Al tratarse de una actuación sobre edificios existentes no podemos colocar la red de tierra en la cimentación del edificio, ubicándose esta en los patios de luces o en los sótanos de los edificios. En los precios no se contemplan labores de mejora del valor de la resistencia de paso a tierra mediante tratamiento el terreno.

Grado de actuación: al considerarse como única actuación la nueva instalación del conductor puesta a tierra los intervalos porcentuales son 0% ó 100%, indicándose el cien cuando se decida implantarla y cero si por el contrario se decide no implantar la instalación.

- Fontanería

- Canalizaciones agua caliente: en el caso de las canalizaciones de agua caliente sanitaria el modelo establece como única actuación la sustitución y reposición de los mismos, por encontrarse estos en un deficiente estado de conservación debido a la corrosión, que suele ser la patología más extendida en instalaciones de ACS.

La actuación de sustitución y reposición de canalización de agua caliente sanitaria presenta dos variantes, pudiendo seleccionarse el material de las nuevas canalizaciones a implantar en función de su impacto ambiental. Los materiales de las

canalizaciones propuestas son polietileno y cobre. La información relativa a la sostenibilidad del material se expresa en kilos de CO₂ por kilo de material (kgCO₂/kg) en ambos casos. También se aporta la información energética en kilos de CO₂ por metro (kgCO₂/m) en el caso del tubo de polietileno o kilos de CO₂ de por unidad (kgCO₂/u) en el caso del tubo de cobre, facilitando así una visión global y unitaria de las emisiones generadas en la producción de los materiales.

Código	Unidad	Descripción	kgCO ₂ /ud medida	kgCO ₂ /kg
Energía incorporada de materiales				
IF28200	u	Tubo cobre diám. 16/18 mm	2,23	kgCO ₂ /u 2,202
IF28300	u	Tubo cobre diám. 20/22 mm	2,730	kgCO ₂ /u 2,202
IF28400	u	Tubo cobre diám. 26/28 mm	3,48	kgCO ₂ /u 2,202
IF92974	m	Tubo corrugado p/polietileno diám. 25 mm	0,730	kgCO ₂ /m 1,885
IF92975	m	Tubo corrugado p/polietileno diám. 32 mm	0,93	kgCO ₂ /m 1,885
IF92977	m	Tubo corrugado p/polietileno diám. 50 mm	1,450	kgCO ₂ /m 1,885

Tabla .17. Emisiones de CO₂ de materiales. Capítulo 08: Instalaciones

Dentro del precio de canalizaciones, tanto de agua caliente como fría se encuentran repercutidos los pasos de forjado y falsos pilares necesarios para el paso de los nuevos montantes, así como las labores de retirada de las antiguas canalizaciones y reposición de los elementos del edificio afectados por la actuación a su estado inicial.

· Desagües: al igual que en el apartado anterior, en el caso de los desagües el modelo establece como única actuación su sustitución y reposición cuando presenten un deficiente estado de conservación.

· Canalizaciones agua fría: ante el elevado proceso de degradación que suelen sufrir las canalizaciones de agua de las viviendas de cierta antigüedad, que van desde la oxidación interior de la cañería a la obstrucción de la sección de paso favorecida por la combinación de diferentes materiales en la red, generándose como consecuencia escapes, deterioro de la calidad del agua o disminución del caudal, se plantea como única actuación la sustitución y reposición de las canalizaciones.

A pesar de contar con sólo una actuación, el modelo plantea en el caso de la canalización de fría dos opciones de materiales, polietileno y cobre, mostrando del mismo modo que en el apartado anterior de canalización de ACS la información relativa a las emisiones generadas por los materiales (Tabla 5.16).

En el precio complejo creado para canalización de agua fría incluye los contadores divisorios, esto se debe a que hasta hace unos años era común que únicamente existiera un contador general por finca y ahora es preceptivo en Sevilla disponer de un sistema de contabilización tanto de agua fría como de agua caliente (si es de producción centralizada) individual para cada vivienda (EMASESA 2012). Estos contadores divisionarios se sitúan en zonas de uso común, de fácil y libre acceso, bien reunidos en una batería de contadores. Puede llegar a reducirse el consumo hasta un 20% con la implantación de estos contadores individuales.

· Aparatos sanitarios: sustitución y reposición de los aparatos sanitarios en la actuación propuesta, siempre que estos presenten un estado de conservación no apto para su uso. A la hora de abordar el precio de este elemento se ha tomado en consideración que los aparatos sanitarios tiene una repercusión muy importante en el ahorro de agua; la grifería monomando, el diseño de cisterna, los sistemas de descarga automática, aireadores etc., son elementos que optimizan el caudal aportado, con ahorro de agua y estabilidad en la demanda, por lo que a la hora de realizar el precio se han optado por sanitarios que cumpliesen estos requisitos.

En el precio se encuentra repercutido tanto la demolición de los aparatos sanitarios y la colocación de los aparatos nuevos, como la nueva grifería.

Grado de actuación: de realizarse la actuación propuesta sobre cualquiera de los cuatros apartados anteriores, deberá indicarse el porcentaje del elemento afectado por el daño, estableciéndose grados de actuación en intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Los grados de actuación permiten ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los costes.

· Termos/calentadores: en el caso de que exista la necesidad de sustituir el sistema de producción de ACS, en el modelo se plantea la implantación del nuevo sistema pero siempre apoyado en energía solar térmica. Eso se plantea con el objeto de conseguir reducir el consumo energético necesario en la vivienda para la producción de ACS, tanto para los puntos de consumo como para la calefacción de las viviendas a través de radiadores. Por lo tanto en este apartado contamos con dos actuaciones:

· **Sistema de producción de ACS con energía solar térmica**: consiste en sustituir el sistema de producción existente, comúnmente según las características del edificio de referencia se supone termo/calentador y reponerlo mediante un sistema comunitario dotado de placas de energía solar térmica que contribuyan a la producción de ACS.

· **Sistema de producción de ACS y calefacción con energía solar térmica**: al igual que el anterior, la actuación consiste en sustituir el sistema de producción existente (termo/calentador) y reponerlo mediante un sistema comunitario dotado de placas de energía solar térmica. Pero en este caso la instalación también va destinada a producir agua caliente para la caldera comunitaria, por lo que se aumenta la capacidad de producción del sistema. Esta actuación ha de seleccionarse siempre que se indique la implantación de radiadores en el edificio, ya que será el sistema de producción que los alimente de agua caliente.

Grado de actuación: en ambos casos, al ser un sistema de producción no existente previamente en el edificio, a pesar de considerarse sustitución y reposición, se entiende que el nuevo sistema ha de instalarse completo, por lo que los intervalos porcentuales son 0% y 100%, indicándose el cien cuando se

decida implantar el nuevo sistema y cero si por el contrario se decide no implantarlo.

CAPÍTULO 11: Carpintería y elementos de seguridad

Como ya se ha puntualizado al comienzo del presenta apartado, en este capítulo sólo se considera la sustitución, cuando sea preciso, de las carpinterías exteriores que forman parte de la envolvente por carpinterías con características que permitan mejorar la calificación energética del edificio. Esto se debe a que al igual que en los capítulos anteriores se sigue el criterio de elaboración de precios complejos, habiéndose incluido las carpinterías interiores del edificio en el precio complejo de sustitución de tabiques interiores, englobado en el capítulo de albañilería.

En los precios de carpintería generalmente no se consideran ayudas de albañilería para recibidos, ya que normalmente se miden como partida con entidad propia en el capítulo de albañilería. Sin embargo, debido a la particularidad de los precios complejos de obras de recuperación y al tratarse de una actuación de sustitución y reposición, en nuestro caso se ha considerado no sólo la mano de obra de la colocación de las nuevas carpinterías, sino que en el precio también se encuentra repercutida la mano de obra necesaria para retirar la carpintería original a sustituir.

Además de las carpinterías exteriores en este capítulo también se incluyen las rejas de huecos exteriores, por considerarse elementos de seguridad y protección.

Subcapítulo 11R: Recuperaciones

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
11. Carpinterías		
Carpintería ligera	Sustitución y reposición	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Carpintería madera	Sustitución y reposición	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
Rejas	Desmontado y reutilización	1 a 30 / 31 a 60 / 61 a 100
	Sustitución y reposición	

Tabla 5.18. Actuaciones y grado de actuación (%). Capítulo 11: Carpinterías y elementos de seguridad

Apartados

Los apartados que constituyen el capítulo de carpinterías y elementos de seguridad son:

- Carpintería ligera (aluminio)
- Carpintería de madera
- Rejas

Actuaciones

Se considera la sustitución y reposición de la carpintería exterior cuando esta se encuentre en un deficiente estado de conservación o por querer completar la mejora de la eficiencia energética de la envolvente en el caso de haberse realizado la actuación de recuperación energética en cerramientos y cubiertas del edificio. Por ello el precio de

carpinterías exteriores se ha elaborado con carpinterías que permitan la mejora calificación energética del edificio, pudiendo escoger entre:

- **Carpintería ligera** (aluminio): se propone la colocación de carpinterías ligeras de aluminio lacado con rotura de puente térmico (RPT), consiguiendo con esta tipología de ventanas reducir la transmisión térmica y acústica, ya que la RPT evita que la cara exterior e interior de la carpintería tengan contacto entre sí, además intercala un material de baja conductividad térmica, asegurando así su buen comportamiento energético. En el precio también se incluye la persiana enrollable de aluminio anodizado como elemento de protección solar del hueco.
- **Carpintería de madera**: se propone colocar carpinterías de madera abatibles de pino de Flandes con rotura de puente térmico (RPT), dotadas de contraventanas de lamas de madera como elemento de protección solar. La madera se caracteriza por ser un material con una muy baja conductividad térmica, lo que la convierte en el material ideal para carpinterías exteriores. Además hay que tener en cuenta la poca energía que requiere la madera para su transformación, lo que la cataloga como altamente sostenible (Ecoinvent database, 2015).

Tanto para la carpintería ligera (aluminio) como para la carpintería en madera, se da la opción de seleccionar, dependiendo de las exigencias y necesidades para lograr una mejora del control solar y temperatura, hasta 3 tipos de vidrios compuestos con distintas características específicas de aislamiento térmico y acústico adaptado a las exigencias del CTE-DB-HE1. Estos vidrios son:

- **Vidrio de doble acristalamiento**: formado por dos lunas pulidas incoloras de 6 mm de espesor, cámara de aire deshidratado de 12 mm.
- **Vidrio bajo emisivo**: formado por dos lunas pulidas incoloras con baja emisividad, de 6 mm de espesor, cámara de aire deshidratado de 12 mm.
- **Vidrio con control solar**: formado por dos lunas pulidas incoloras con control solar, de 6 mm de espesor, cámara de aire deshidratado de 12 mm.

Las variantes de materiales propuestos, tanto para las carpinterías como para los vidrios, permiten indicar la tipología de carpintería a implantar en función del impacto ambiental de los materiales. La información relativa a la sostenibilidad del material se expresa en kilos de CO₂ por kilo de material (kgCO₂/kg) y en kilos de CO₂ por metro cuadrado (kgCO₂/m²), facilitando así una visión global y unitaria las emisiones generadas en la producción de los materiales.

Código	Unidad	Descripción	kgCO ₂ /m ²	kgCO ₂ /kg
Energía incorporada de materiales				
KL80300	m ²	Ventana abatible aluminio lacado blanco c/RPT	26,50	10,695
KM08500	m ²	Ventana abatible mad. Pino flandes 1ª (T-III)	-2.010,060	-52,29
VL04500	m ²	Doble luna incolora 6 mm, cámara aire 12 mm	1,59	0,59
VL05500	m ²	Doble luna incolora baja emisividad 6 mm, cámara aire 12 mm	1,59	0,59
VL06500	m ²	Doble luna incolora control solar 6 mm, cámara aire 12 mm	1,59	0,59

Tabla 5.19. Emisiones de CO₂ de materiales. Capítulo 11: Carpinterías y elementos de seguridad

▪ Rejas: en el caso de las rejas se proponen dos posibles actuaciones a realizar sobre el elemento, dependiendo de si el estado de conservación que presenta permite o no su reutilización, pudiendo ser:

· Desmontado y reutilización: se seleccionará esta opción cuando las rejas presenten un estado de conservación que permita la recuperación del elemento mediante tratamiento. El precio elaborado para esta opción comienza por el desmontado y aplicación de reparaciones mecánicas, decapados de pinturas, eliminación del óxido, pintado al esmalte sintético, y vuelta a anclar en su lugar de origen.

· Sustitución y reposición: en caso de encontrarse las rejas en un estado de conservación tan deficiente que no es posible su recuperación, se plantea con esta opción la posibilidad de sustituirlas por otras de nueva fabricación, en cuyo caso deberán incluirse las ayudas de albañilerías necesarias para la retirada de las rejas originales e implantación de las nuevas.

Grados de actuación

De aplicarse alguna de las actuaciones especificadas anteriormente, en cualquiera de sus apartados (carpinterías o rejas), deberá indicarse el porcentaje de elementos afectados por la actuación, estableciéndose intervalos porcentuales de 1 a 30, de 31 a 60 o de 61 a 100. Estos grados de actuación pretenden ajustar los recursos empleados para subsanar la patología, con el fin de conseguir una mayor y más fiable aproximación de los costes.

ACCESIBILIDAD

En este punto se da respuesta a las actuaciones a llevar a cabo sobre aquellos elementos comunes del edificio que afectan directamente a las condiciones de accesibilidad del edificio.

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
Accesibilidad		
Escalera	Sustitución	100
	Rectificación peldañado	
Rampa	Nueva instalación	100
Portero	Sustitución y reposición	100
Ascensor	Nueva instalación	100

Tabla 5.20. Actuaciones y grado de actuación (%). Accesibilidad

Apartados

Tomando en consideración la antigüedad de los edificios sobre los que se aplica el modelo, se estima que estos no cumplen normativa en lo que se refiere a condiciones de accesibilidad de personas con movilidad reducida, por lo que los apartados considerados en este punto son aquellos que afectan directamente a dicha accesibilidad, como son:

- Escalera
- Rampa de acceso
- Portero electrónico
- Ascensores

Actuaciones

- Escaleras
 - Sustitución losa de escalera: se seleccionará esta opción cuando el ámbito de la escalera existente no cumpla normativa y mediante nuevo replanteo de la misma sea posible su adaptación. Al tratarse de un edificio existente, se debe tomar en consideración la posibilidad de que las características del hueco de escalera hagan inviable técnicamente la ampliación de dicho ámbito, en cuyo caso no sería posible realizar esta opción.
 - Rectificación del peldañado: esta opción se seleccionará cuando el peldañado de la escalera no cumpla con las dimensiones de huella y tabica establecidas. En esta opción se plantea la demolición del peldañado existente y ejecución del nuevo, incluso barandilla.

Grado de actuación

En estas actuaciones en lugar del grado, ya que de realizarse cualquiera de ellas se aplicaría sobre el 100% de la escalera, se requiere que se especifique el número de plantas, esto se debe a que los precios se han elaborado en función del número de plantas del edificio.

- Rampa de acceso

- Nueva instalación: esta actuación se llevará a cabo cuando las zonas comunes del edificio no cuenten con rampa de acceso para personas con movilidad reducida. En el precio creado se incluyen las labores necesarias para crear el espacio en el que se ubicará la nueva rampa.

- Grado de actuación

- En este caso, en lugar del grado de actuación, habrá que indicar la superficie que ocupará la nueva rampa, dado que el precio se ha elaborado por superficie ejecutada.

- Portero electrónico

- Sustitución y reposición: se plantea esta actuación cuando el portero electrónico existente en el edificio haya dejado de cumplir su función por presentar un estado de conservación deficiente. Esto supone que serán necesarias las ayudas de albañilería requeridas para eliminación de la instalación anterior, así como las ayudas precisas para montar el nuevo portero electrónico.

- Grado de actuación

- En lugar del grado de actuación, en función de las dimensiones del edificio, habrá que indicar el número de porteros electrónicos a instalar.

- Ascensor:

- Nueva instalación: teniendo en cuenta la antigüedad del edificio de referencia se considera que originariamente no cuenta con ascensor, por lo que se plantea su nueva instalación. Esto supone que en el precio elaborado se contemplan las actuaciones necesarias para adaptar la zona del edificio donde va a implantarse el ascensor, lo que supone la adaptación de los forjados, así como la ejecución del hueco para foso de ascensor y creación de cuarto de maquinaria en la cubierta del edificio.

- Grado de actuación

- En lugar del grado de actuación, en función de la superficie total del edificio, habrá que indicar el número de ascensores necesarios.

Con el desarrollo de este apartado se consigue justificar la elaboración de los precios que constituyen el banco de costes de recuperación, en ella quedan definidos con claridad los contornos e hipótesis tomadas para cada una de las actuaciones que constituyen los precios complejos elaborados.

El ANEXO II de la presente tesis contiene el BCCR, el cual se ha realizado a través del procedimiento de cálculo de precios desarrollado en los capítulos anteriores y siguiendo los contornos establecidos en este apartado. Se incluyen también los precios unitarios simples y básicos creados para el desarrollo de los precios unitarios complejos descompuestos elaborados, así como los precios existentes en el BCCA que aunque no son de nueva creación se han empleado en el desarrollo del BCCR.

5.1.4. Precios de demolición/gestión de residuos y nueva construcción

Definido el contorno de los precios de la fase de recuperación, para cerrar el impacto económico de la evaluación faltan por definir los precios referidos a la otra fase de la comparativa que se pretende en el modelo desarrollado: los precios de demolición, gestión de residuos y nueva construcción. Para la obtención de estos precios, al igual que se ha venido realizando a lo largo de toda la investigación, se parte del BCCA, con la salvedad que dicho banco se encuentra desarrollado por precios específicos para obras de demolición y nueva planta, por lo que no es necesario la creación de nuevos precios, cómo si ha ocurrido con la fase de recuperación, sino que pueden emplearse los precios existentes.

Los precios de demolición incorporados en el modelo se aplican en función de la estructura que presente el edificio, pudiendo ser esta de hormigón armado o de muros de carga, en ambos casos se considera que se realiza la demolición masiva del edificio con medios mecánicos, siempre dentro de la tipología edificatoria de referencia, definida como la más representativa (Alba-Rodríguez et al. 2013), edificios de viviendas residenciales de tres a cuatro plantas de altura. A continuación se exponen los precios unitarios simples descompuestos contenidos en el modelo de evaluación referidos a la demolición (BCCA, 2014).

01EMM90100		m3	DEMOLICIÓN MASIVA M. MEC. DE EDIFICIO MUROS DE FABRICA		
Demolición masiva con medios mecánicos de edificio, desde la cara superior de la cimentación, con estructura de muros de fábrica y cuatro plantas de altura máxima, incluso p.p. de apeos.					
Medido el volumen aparente inicial definido por la superficie exterior de los elementos básicos del edificio					
CÓDIGO	UD	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MC00100	h	COMPRESOR DOS MARTILLOS	0,115	6,35	0,73
TP00100	h	PEÓN ESPECIAL	0,285	18,28	5,21
TO02100	h	OFICIAL 1ª	0,030	19,23	0,58
Costes Directos					6,52

Tabla 5.21. Precio unitario simple descompuesto de demolición de edificio de muros de carga (BCCA, 2014)

01EMM90110		m3	DEMOLICIÓN MASIVA M. MEC. DE EDIFICIO ESTRUCTURA HORM.		
Demolición masiva con medios mecánicos de edificio exento, desde la cara superior de la cimentación, con estructura de hormigón y cuatro plantas de altura máxima, incluso p.p. de apeos.					
Medido el volumen aparente inicial definido por la superficie exterior de los elementos básicos del edificio					
CÓDIGO	UD	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MC00100	h	COMPRESOR DOS MARTILLOS	0,160	6,35	1,02
TP00100	h	PEÓN ESPECIAL	0,356	18,28	6,51
TO02100	h	OFICIAL 1ª	0,040	19,23	0,77
Costes Directos					8,30

Tabla 5.22. Precio unitario simple descompuesto de demolición de edificio de hormigón armado (BCCA, 2014)

Del mismo modo, para la evaluación del impacto que causa la gestión de residuos, se introduce en el modelo el precio unitario simple descompuesto de retirada de residuos mixtos existente en el BCCA (2014) (Tabla 5.23). Además de la cuantificación económica, de los descompuestos de estos precios de demolición y gestión de RCD se extraen, a partir del BCRR, los recursos básicos de maquinaria y mano de obra que permiten la

evaluación ambiental de la fase de demolición del edificio, tal como se detalla en el apartado 5.3. Obtención del modelo de viabilidad.

17RRR00410	m ³	RETIRADA RESIDUOS MIXTOS DEMOL. A PLANTA DE VALORIZ. 10 km			
Retirada de residuos mixtos en obra de demolición a planta de valorización situada a una distancia máxima de 10 km, formada por: carga, transporte a planta, descarga y canon de gestión.					
Medido el volumen esponjado.					
CÓDIGO	UD	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
MK00100	h	CAMIÓN BASCULANTE	0,200	25,60	5,12
ER00100	m ³	CANON GESTION DE RESIDUOS MIXTOS	1,000	12,50	12,50
TP00100	h	PEÓN ESPECIAL	0,020	18,28	0,37
Costes Directos					17,99

Tabla 5.23. Precio unitario simple descompuesto de retirada de residuo mixto (BCCA, 2014)

Por último, para concluir la evaluación económica de esta fase, faltan por extraer el impacto económico causado por la ejecución de la nueva edificación. A diferencia de las fases anteriores, los datos económicos de nueva construcción no se extraen directamente del BCCA, esto se debe a que este estudio ya se ha realizado en investigaciones previas por integrantes del grupo de investigación del que forma parte la presente tesis. Concretamente se introduce una base de datos con las mediciones reales de 94 proyectos de vivienda social en Andalucía (González-Vallejo et al. 2015b), de las que se han extraído los PEM por unidad de superficie construida en función de sus características tipológicas (Tabla 5.24). La forma de aplicación de estos datos en el modelo de evaluación se realiza en función de dichas características tipológicas que definen el edificio: número de plantas sobre rasante, tipo de cimentación, estructura, cubierta, así como el uso de planta baja, por lo que definiendo estos elementos del edificio objeto de estudio, el modelo selecciona y aplica el PEM/m² que define la tipología edificatoria para niveles de calidades medias.

Nº Plantas	Uso Planta	Tipo de	Tipo de Estructura	Cubierta	PEM	PEM/m ²
4 plantas	Locales	Losa armada	Muros fábrica ladrillo	Inclinada	2.368.197,24	533,32
4 plantas	Viviendas	Zapatas	Hormigón armado	Inclinada	2.410.358,59	542,81
3 plantas	Viviendas	Zapatas	Hormigón armado	Horizontal	1.870.699,81	561,71
3 plantas	Locales	Zapatas	Hormigón armado	Horizontal	1.487.798,11	446,74
4 plantas	Locales	Zapatas	Hormigón armado	Horizontal	1.991.246,45	448,43
4 plantas	Locales	Zapatas	Hormigón armado	Inclinada	2.042.721,32	460,02
4 plantas	Viviendas	Zapatas	Hormigón armado	Horizontal	2.599.597,97	468,35
3 plantas	Viviendas	Zapatas	Hormigón armado	Horizontal	2.105.108,67	474,09
4 plantas	Locales	Zapatas	Hormigón armado	Horizontal	2.223.584,45	400,61
3 plantas	Locales	Zapatas	Hormigón armado	Inclinada	1.781.570,62	401,22
4 plantas	Viviendas	Pilotes	Hormigón armado	Inclinada	2.512.696,2	565,86
3 plantas	Locales	Pilotes	Hormigón armado	Inclinada	1.643.573,29	493,52
3 plantas	Viviendas	Pilotes	Hormigón armado	Horizontal	1.957.734,21	587,85
4 plantas	Locales	Pilotes	Hormigón armado	Horizontal	2.095.176,90	471,83
4 plantas	Locales	Pilotes	Hormigón armado	Horizontal	2.328.073,81	419,43
4 plantas	Viviendas	Pilotes	Hormigón armado	Horizontal	2.699.511,74	486,35
3 plantas	Viviendas	Pilotes	Hormigón armado	Horizontal	2.188.690,52	492,91
3 plantas	Locales	Pilotes	Hormigón armado	Inclinada	1.873.522,02	421,93
3 plantas	Viviendas	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	2.128.027,08	479,25
4 plantas	Locales	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	2.250.189,36	405,4
3 plantas	Locales	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	1.464.433,18	439,72
4 plantas	Locales	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	1.994.766,73	449,22

Tabla 5.24. Ejemplos de PEM y PEM/m² en función de las características tipológicas, extraído de la base de datos de 94 proyectos (González-Vallejo et al. 2015a y 2015b)

5.2. Evaluación del impacto ambiental

El análisis de costes ambientales se ha realizado mediante el modelo de evaluación del indicador HE aplicado al sector edificación, adaptado originariamente por Solís-Guzmán (2011), donde se definen las herramientas que permiten evaluar los impactos generados durante la ejecución de las obras de edificación. Esta metodología de adaptación del modelo de evaluación del indicador HE para el sector edificación es la base del estudio de viabilidad ambiental desarrollado en la presente tesis. Dicha metodología ha evolucionado desde su publicación original a través del trabajo de varios investigadores (González-Vallejo et al. 2015a y 2015b) (Solís-Guzmán et al. 2013), por lo que se hace indispensable el desarrollo de un apartado donde se defina el procedimiento de cálculo de HE empleado en el estudio de viabilidad ambiental.

5.2.1. Indicador HE aplicado a recuperación de edificios

El modelo de evaluación del indicador HE aplicado a edificación se crea con el objeto de ser un modelo estandarizado y reproducible en otras fases del ciclo de vida del edificio, lo que se consigue gracias a que los recursos que definen el indicador HE se encuentran cuantificados y clasificados sistemáticamente en el presupuesto del proyecto. Esto ha permitido que la metodología HE aproxime los conceptos empleados en su desarrollo a la terminología usada en los presupuestos de obra, facilitando así el entendimiento del modelo a los técnicos del sector, lo que incentiva la aplicación del mismo.

Que el punto de partida para el cálculo de HE sea la cuantificación de los recursos extraídos del presupuesto, es también lo que hace posible que el modelo HE pueda aplicarse en otras fases del ciclo de vida del edificio, como es la fase de recuperación, ya que el banco de costes de recuperación elaborado (BCCR) permite cuantificar los recursos empleados en las actuaciones a realizar sobre el edificio a recuperar, de esta cuantificación de recursos se alimenta el modelo de cálculo HE (Fig. 5.4), evaluando los impactos desde el punto de vista ambiental.

La estructura del modelo HE aplicada a edificios en fase de recuperación, representada en la figura 5.4, permite vislumbrar como dicho modelo, al igual que la estructura de costes en la que se sustenta el sistema de presupuestación ya descrito, se divide en dos grandes bloques en función de la forma de imputación, por un lado está la imputación directa, que se asignan mediante la aplicación del precio (BCCR) a la cantidad (medición $Q_i(u/m^2)$), y por otro está la imputación indirecta, que se asignan por aplicación de un valor relativo (porcentaje) sobre los costes de referencia. Al traducir esto a términos de HE es evidente que los costes ambientales directos (Fig. 5.4) provocan la utilización directa de recursos básicos en la obra (obtenidos a través del BCRR) generándose las distintas fuentes de impacto, ya sea por gasto de energía de maquinaria empleada en obra que requiere consumo de combustible o electricidad (según la tipología de maquinaria considerada), por mano de obra se genera por un lado el consumo de alimentos de los operarios, y la subsecuente generación de residuos sólidos urbanos

(RSU). Por último, derivado del uso de materiales de construcción se consume energía a causa de los procesos de extracción, fabricación, transporte y puesta en obra.

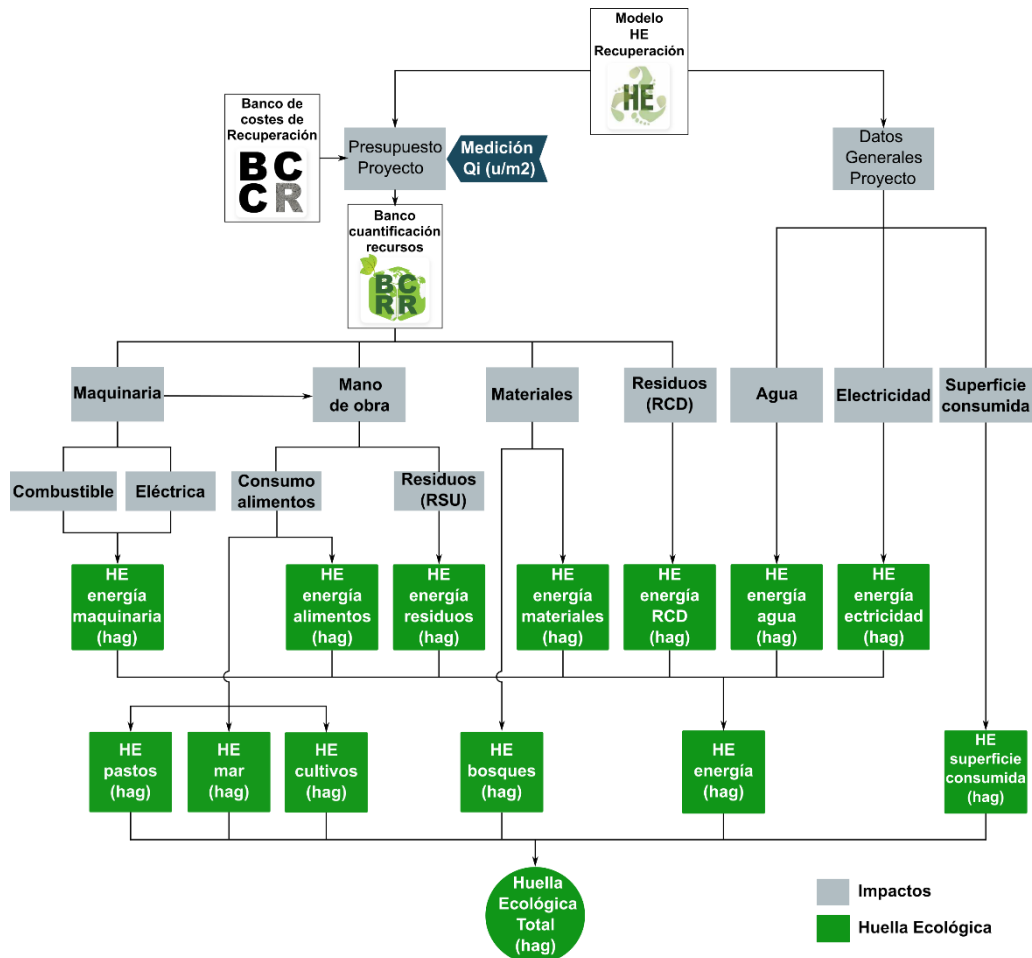


Figura 5.4: Estructura del modelo HE para recuperación de edificios

Los costes ambientales indirectos son, al igual que se ocurre en la estructura de costes del presupuesto, todos aquellos elementos que no pueden ser imputables a un trabajo en concreto ya que se emplean para más de un elemento dentro de la obra. Ejemplos claros de este tipo de costes indirectos son: la grúa torre (maquinaria), ya que realiza trabajos de traslado de materiales, izado y descarga de cargas, etc., el encargado (mano de obra), que actúa en toda la obra durante la realización de todos los trabajos y en el caso de los materiales los considerados auxiliares como son ladrillos y pasta para ejecución de elementos provisionales de obra.

Estas fuentes de impacto directas e indirectas: maquinaria, mano de obra y materiales que acabamos de describir, proceden directamente de su cuantificación en el BCR, por lo que tan sólo quedan por definir, según se aprecia en el esquema del modelo (Fig. 5.4), las fuentes de impacto procedentes de los datos generales del proyecto, como son el agua consumida directamente durante la ejecución de las tareas o en los aseos y casetas

de obra, y por último, la superficie ocupada por el edificio existente y que provoca el consumo de territorio productivo, generándose por tanto una huella sobre el mismo.

Los recursos empleados o residuos generados por cada una de estas fuentes de impacto, son catalogados en el modelo como elementos intermedios, cuya misión es la de transformar estos consumos en elementos que nos permitirán definir las distintas huellas parciales que componen la huella global. Estos elementos intermedios son: consumo de combustible fósil y mix energéticos (energía eléctrica) procedente de la maquinaria, fabricación de los materiales de construcción, emisiones de CO₂, territorio necesario para absorber las emisiones de CO₂ y el territorio ocupado por las distintas fuentes de impacto.

Para la obtención de las huellas parciales y totales se aplican coeficientes de transformación sobre los consumos y elementos intermedios. Se emplean coeficiente de transformación distinto, desde factores de emisión y absorción, hasta factores de productividad y equivalencia, en función del tipo de consumo o elementos intermedio, siendo estos: rendimiento del sistema eléctrico, rendimiento de los alimentos, coeficientes de energía incorporada en los materiales, coeficiente de generación de residuos urbanos, factores de conversión de distintos residuos, factor de emisiones de distintas fuentes de energía, factor de absorción de los bosques, factores de productividad de los distintos territorios y factores de equivalencia de territorios productivos. Los factores de equivalencia convierten los resultados de (ha) a hectáreas globales (hag), permitiendo que los resultados obtenidos sean comparables. Cada HE parcial requerirá coeficientes y factores distintos.

El modelo de cálculo de HE, mediante la aplicación de los coeficientes de transformación a los consumos y elementos intermedios, determina la huella ecológica total, que a su vez se define a partir de diferentes huellas parciales: energía, pastos, mar, cultivos, bosques y superficie ocupada.

De lo expuesto en los párrafos anteriores, puede extraerse que con la cuantificación de recursos del BCRR, datos generales del proyecto, coeficientes de transformación necesarios para el cálculo de las HE parciales y el desarrollo de hipótesis complementarias, se calculan las huellas parciales y a partir de ahí la huella ecológica total. Quedando pendiente el análisis del procedimiento donde queden definidos la forma de aplicación de los distintos conceptos que conforman la HE de edificación, para lo cual, a continuación se desarrolla un apartado que permite analizar paso a paso el procedimiento de cálculo HE en edificación.

Procedimiento de cálculo de la HE

Antes de comenzar a desglosar el procedimiento de cálculo, es necesario aclarar un aspecto fundamental de la metodología. Al aplicar el indicador HE siempre se está relacionando, el impacto generado por una determinada actividad, en términos de consumo, con la productividad del territorio donde se genera la actividad. El impacto que produce la actividad edificatoria es siempre puntual en el tiempo, mientras que la

capacidad de producir de ese territorio es continuada, por lo que la actividad del sector construcción somete al territorio a un estrés puntual, siendo el daño global cometido a lo largo del tiempo el parámetro que se evaluará mediante la HE.

Se considera como hipótesis iniciales, que en el territorio de estudio la única actividad que ejerce algún impacto sobre el mismo es la que corresponde a la recuperación del edificio, y que ese impacto será ejercido durante un período máximo de 12 meses, necesario para la ejecución de la obra. En el caso de que el período de ejecución se alargara más allá del año planteado, habría que considerar que el impacto de la recuperación sería uniforme, es decir, que si la obra durase 18 meses, tendrá un impacto sobre el territorio distribuido en el tiempo de la siguiente forma: los 18 meses se distribuirían en tres periodos de 6 meses, por lo que durante el primer año se produciría 2/3 del impacto total de la obra (2 períodos de 6 meses) y durante el segundo año se produciría 1/3 del impacto total de la obra (1 período de 6 meses). También hay que tomar en consideración que el modelo propuesto evalúa los proyectos antes de que se ejecuten, por lo que determinados datos de consumo no están aún disponibles, por lo que la metodología propuesta tiene siempre un carácter predictivo.

El procedimiento de cálculo se desarrolla siguiendo el esquema del modelo HE aplicado a recuperación (Fig. 5.4), por lo que se analiza en primer lugar los costes ambientales procedentes del BCRR, correspondientes con la maquinaria, mano de obra y materiales.

MAQUINARIA

La metodología de cálculo de huella producida por el consumo de energía, ya sea combustible o energía eléctrica generada por la utilización de la maquinaria, se ha modificado respecto al modelo original (Solís-Guzmán, 2011), en este la cantidad de combustible necesario para el cálculo de la HE de maquinaria se obtenía aplicando el coste económico producido por el alquiler de la misma a las horas de uso de la maquinaria, estableciendo como hipótesis que únicamente el 20% del coste horario de la maquinaria era considerado combustible.

Las modificaciones realizadas pretenden ajustar los consumos en función de las potencias de la maquinaria utilizada en la obra. En primer lugar ha de realizarse el cálculo de horas de uso de las distintas maquinarias necesarias para la ejecución de las unidades de obra, cuantificadas a través del BCRR, para a continuación vincular estas horas a la potencia del motor de cada máquina. Se ha diferenciado por un lado la huella producida por el empleo de la maquinaria y por otro la producida por el trabajador que la maneja, estas horas serán analizadas posteriormente junto con el resto de trabajadores de la obra en el apartado de mano de obra.

- Combustible:

Para estimar el consumo de combustible de la maquinaria se emplea el manual de maquinaria elaborado por SEOPAN (2008), donde se recogen los datos técnicos de diferentes modelos y tipologías de máquinas del mercado, pudiéndose resumir como datos de interés los siguientes consumos: gasóleo de 0.15 a 0.20 litros consumidos en 1

hora por kW instalado y gasolina de 0.30 a 0.40 litros consumidos en 1 hora por kW instalado.

En primer lugar se obtienen los litros de combustible consumidos por la maquinaria, para ello se eligen los consumos más desfavorables de los intervalos definidos en el párrafo anterior, en función de la si máquina es de gasoil o de gasolina, estos consumos se aplican a la potencia del motor y al tiempo de uso (horas) de la máquina cuantificado en el BCCR. Este procedimiento queda expresado a través de la siguiente fórmula (Freire y Marrero, 2014):

$$C_c = P \cdot h_u \cdot R \quad (1)$$

Donde:

Cc: consumo de combustible en litros

P: potencia del motor de la maquinaria (kW)

h_u: horas de uso de la maquinaria en los trabajos de obra (h)

R: rendimiento del motor de gasoil o gasolina (l/kWh)

La HE fósil derivada del consumo de combustible de la maquinaria se obtiene al aplicar, los litros de combustible consumidos obtenidos de la formulación anterior, a las emisiones del combustible por cada litro consumido (kgCO₂/l) y dividir este dato por la absorción de los bosques, quedando el procedimiento recogido en la siguiente expresión:

$$HE_f = \frac{C_c \cdot E_{combustible}}{A} \cdot FE_b \quad (2)$$

Donde:

HE_f: huella parcial del consumo (fósil) de la maquinaria (hag)

Cc: consumo de combustible (l)

E: factor de emisiones (0.0026 tCO₂/l) (reducidas un 28% por la absorción de los océanos)

A: absorción de los bosques (3,59 tCO₂/ha) (GFN, 2014)

FE_b: factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)

En la siguiente tabla (Tabla 5.25) se muestran a modo de ejemplo las horas anuales de la maquinaria empleada (H_u) y las características de sus motores (Potencia (P), Consumo (C) en kWh y rendimiento del motor (R)), datos necesarios para definir el consumo de combustible (Cc) que permite el cálculo de la HE fósil de la maquinaria.

Código	Ud	Maquinaria combustible	h_u (h)	P (kW)	C (kWh)	R (l/kWh)	Cc (l)
ME00300	h	Pala cargadora	53,33	120,00	6.399,63	0,20	1.279,93
ME00400	h	Retroexcavadora	1,04	67,00	69,49	0,20	13,90
MK00100	h	Camión basculante	25,27	250,00	6.318,29	0,20	1.263,66
MK00300	h	Carretilla mecánica basculante	15,16	90,00	1.364,24	0,20	272,85
MP80020	h	Equipo perforación micropilotes	886,39	57,00	50.524,51	0,20	10.104,90
MP80001	h	Equipo perforación c/corona diamante	20,21	57,00	1.152,03	0,20	230,41
MP80002	h	Eq.perforación c/martillo de fondo	90,47	57,00	5.156,70	0,20	1.031,34
MW00300	h	Plataforma elevadora telescópica	729,55	80,00	58.364,26	0,20	1.1672,85
TOTALES			1.932,00		12.9349,15		25.869,84

Tabla 5.25. Ejemplo de cálculo del consumo de combustible producida por maquinaria del caso de estudio Viv. "RENFE"

- Electricidad:

El consumo producido por las maquinas eléctricas no se contabilizaban en el modelo original (Solís-Guzmán, 2011), siendo cuantificados por primera vez dichos consumos por Freire y Marrero (2014 y 2015). El cálculo de la HE producida por la maquinaria eléctrica sigue un procedimiento similar al empleado para la maquinaria combustible. El consumo eléctrico se obtiene al aplicar la potencia del motor de la máquina (kW/h), obtenida del análisis de las maquinarias existentes en el mercado, al tiempo de uso de la maquina (horas) cuantificadas en BCRR, quedando la expresión de la siguiente manera:

$$C = P \cdot h_u \cdot FC \quad (3)$$

Donde:

C: consumo (GJ)

P: potencia de la máquina o herramienta empleada (kW)

h_u : horas de uso de la maquinaria en los trabajos de obra (h)

FC: factor de conversión para cambio de unidades (GJ/kWh)

La HE fósil derivada del consumo eléctrico de la maquinaria se calcula aplicando al consumo eléctrica calculado a través de la formulación anterior, las emisiones de la producción de electricidad en España, teniendo en cuenta el rendimiento del sistema de producción eléctrico y sus emisiones establecidas por el Ministerio de Industria en el año 2013. Estos pasos se reflejan en la siguiente ecuación:

$$HE_f = \frac{C \cdot E_{\text{electricidad}}}{A} \cdot FE_b \quad (4)$$

Donde:

HE_f: huella del consumo (eléctrico) de la maquinaria (hag)

C: consumo eléctrico (kWh)

E: emisiones de la producción de electricidad en España ((0.0025 tCO₂/kWh) (reducidas un 28% por la absorción de los océanos)

A: absorción de los bosques (3,59 tCO₂/ha) (GFN, 2014)

FE_b: factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)

A modo de ejemplo, en la Tabla 5.26 se muestran los datos de horas anuales de la maquinaria empleada (h_u) y las características de sus motores (Potencia (P), rendimiento del motor (R), necesarios para definir el consumo eléctrico (C) que permite el cálculo de la HE fósil de la maquinaria eléctrica.

Código	Ud	Maquinaria eléctrica	h_u (h)	P (kW)	C (kWh)
MC00100	h	Compresor dos martillos	609,16	20,00	12.183,10
MV00100	h	Vibrador	25,31	0,50	12,65
C12232	h	Hormigoneras (Cl)	840,30	1,47	1.235,25
TOTALES			634,46		13.431,00

Tabla 5.26. Ejemplo de cálculo del consumo eléctrico producido por maquinaria del caso de estudio Viv. “RENFE”

MANO DE OBRA

A continuación se definen los consumos asociados a la manos de obra que causan sus diferentes huellas parciales, procedentes de la alimentación de la mano de obra y la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) de los trabajadores hasta la obra.

- Consumo de alimentos:

La manutención de los trabajadores se imputa a la huella de la recuperación del edificio, ya que esta actividad se lleva a cabo en el lugar de trabajo, de la misma manera que en la metodología desarrollada por Domenech Quesada (2007) las comidas de negocios se asignan a la HE corporativa.

Para la obtención de la HE producida por el consumo de alimentos, es necesario obtener el número total de horas de mano de obra trabajadas, ya cuantificadas en el BCCR, la cual se aplicará al resultado de dividir la huella de cada comida servida entre las horas de comida, asumiéndose una comida por cada jornada (8 h de trabajo). La siguiente ecuación (Solís-Guzmán, 2011) expresa el procedimiento de cálculo a seguir:

$$HE_{alimentos} = \frac{HE_{comida}}{h_{comida}} \cdot h_{totales} \quad (5)$$

Donde:

$HE_{alimentos}$: HE producida por el consumo de alimentos (hag/año)

HE_{comida} : HE de cada comida servida expresada en hag/año/comida

h_{comida} : es 8 horas/comida. Se asume una comida por día de trabajo

$h_{totales}$: total de horas trabajadas por todos los empleados

Para seguir avanzando en el cálculo de la HE de alimentos es necesario obtener la HE de cada comida o menú servido al trabajador. La producción de los alimentos requieren de tres tipos de territorios productivos distintos: pastos, tierras de cultivo y mar productivo. Cada alimento que forma parte del menú producirá dos tipos de huella, la provocada por el consumo del propio alimento y la producida por la manipulación y transformación del alimento durante su procesado, esto último se traduce en huella fósil.

Cada tipo de alimentos genera una huella ecológica distinta, las carnes generan HE de pastos, los pescados HE de mar productivo, los cereales HE de tierras de cultivo, etc.,

estas HE se representan en función de las hectáreas globales que emplea cada tonelada de alimento en un año. La HE_{comida} producida por el consumo del propio alimento se calcula teniendo en cuenta: la composición de un menú, en función del consumo de cada alimento, las cantidades consumidas de cada familia de alimentos se obtienen del consumo medio de los españoles definido por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAOSTAT, (2014)) (ver Tabla 5.27), la productividad natural del alimentos, en función de si produce huella de mar, pasto o cultivo (ver Tabla 5.28) y el factor de equivalencia de cada territorio productivo, tal y como se muestran en la siguiente ecuación (Solís-Guzmán, Marrero, 2015):

$$HE_{comida\ xi} = \frac{C_i}{P_{ni}} \cdot FE_x \quad (6)$$

Donde:

$HE_{comida\ xi}$: huella ecológica del tipo x (pastos, mar o cultivos) producida por el consumo de alimento i (carnes, pescados, cereales...) (hag/año)

C_i : consumo de alimentos i en toneladas (Tabla 5.27)

P_{ni} : productividad natural del alimento i en toneladas de alimento/ha

FE_x : factor de equivalencia del tipo x en función del tipo de alimento i (Tabla 5.28)

Item	kg/día	hag/t cultivos	hag/t pastos	hag/t mar	Intensidad energética (GJ/t)
Cereales – Excluida Cerveza	0,30	0,97	...	...	10
Almidón de Raíces	0,18	0,17	...	...	5
Cultivos Azucareros	0,25	0,06	...	...	15
Azúcar y Dulcificantes	0,07	0,37	...	...	15
Legumbres Secas	0,03	1,53	...	...	10
Nueces	0,02	2,02	...	...	10
Cultivos oleaginosos	0,71	1,63	...	...	10
Aceites Vegetales	0,09	7,32	...	...	40
Hortalizas	0,41	0,17	...	...	100
Frutas - Excluido Vino	0,55	0,30	...	...	10
Especias	0,01	2,75	...	...	75
Carne	0,26	1,77	2,28	...	80
Grasas animales	0,01	2,78	4,69	...	40
Huevos	0,04	1,65	...	...	65
Leche - Excluida Mantequilla	0,49	0,57	1,03	...	10

Tabla 5.27. Consumos de alimentos, cálculo del coef. HE_{comida} (González-Vallejo, 2016)

Para concluir con el cálculo de la HE de alimentos hay que calcular la HE producida por la manipulación y transformación del alimento durante su procesado, que cómo ya se la mencionado, se traduce en huella energética (fósil). Este cálculo se aborda teniendo en cuenta la composición del menú (consumo de cada alimento), la intensidad energética necesaria para la transformación de dicho alimento, la productividad del petróleo, y el factor de equivalencia de los bosques que absorberán las emisiones, siguiendo la siguiente ecuación (Solís-Guzmán et al. 2013):

$$HE_{comida\ fósil\ i} = \frac{C_i \cdot IE_i}{P_{pet}} \cdot FE_b \quad (7)$$

Donde:

$HE_{comida\ f\acute{o}sil\ i}$: HE del tipo fósil producida por el consumo de alimento i (carnes, pescados, cereales...) (hag/año)

C_i : consumo de alimentos i en toneladas (Tabla 5.27)

IE_i : intensidad energética para transformar el alimento i (GJ/t)

P_{pet} : productividad del petróleo por hectárea (71,5 GJ/ha)

FE_b : factor de equivalencia de los bosques (hag/ha) (Tabla 5.28)

Categoría de terreno productivo	Factores de equivalencia (hag/ha)
Cultivos	2,51
Pastos	0,46
Bosques	1,26
Mar productivo	0,37
Superficie ocupada	2,51

Tabla 5.28. Factores de equivalencia. (National Footprint Accounts Method Paper, 2010).

Los resultados del coeficiente HE_{comida} de cada tipo de territorio, obtenidos de la aplicación de las expresiones (6) y (7), se indican en la Tabla 5.29, ya transformados en hectáreas globales (hag) al ser multiplicados por los factores de equivalencia de los distintos territorios productivos, obteniendo así la huella provocada por cada comida servida.

$HE\ f\acute{o}sil\ x\ 10^{-3}$ (hag/comida)	$HE\ pastos\ x\ 10^{-3}$ (hag/comida)	$HE\ mar\ x\ 10^{-4}$ (hag/comida)	$HE\ cultivos\ x\ 10^{-3}$ (hag/comida)
1,99	1,24	9,45	3,90
$HE_{comida}\ x\ 10^{-3}$			8,08

Tabla 5.29. Resultados del coeficiente HE_{comida} .

- RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU):

La determinación de la HE generada por los RSU en el modelo original (Solís-Guzmán 2011) se obtenían a partir de unos coeficientes intermedios (hag/año/t) generados con datos estadísticos e intensidad energética de materiales, en función del tipo de residuo (orgánico, papel, plástico y vidrio), a estos coeficientes se les aplicaba el ratio medio de generación de residuo por trabajador (t/trabajador/año) y el número de trabajadores de la obra.

Esta forma de cálculo varía en la presente tesis, ya que se cuenta con datos estadísticos (EUROSTAT 2015) que establecen la cantidad media de generación de RSU por trabajador, con este dato aplicado al total de horas trabajadas cuantificadas en el BCRR y al factor de emisiones de los RSU (minorado un 28% por el CO₂ que absorben los océanos), sin olvidar el factor de absorción de los bosques y su factor de equivalencia, se obtiene la HE de RSU producida por los trabajadores en la obra. La siguiente ecuación sintetiza el procedimiento de cálculo (Martínez Rocamora, 2016):

$$HE_{RSU} = H_T \cdot RSU_g \cdot E_{RSU} \cdot 0.72/A \cdot FE_b \tag{8}$$

Donde:

HE_{RSU} : huella ecológica de los RSU (gha)

H_T : total de horas trabajadas (h)

RSU_g : RSU generado por hora (0.000077 t/h)

E_{RSU} : factor de emisiones de los RSU (0.244 tCO₂/t) (Almasi y Milios 2013)

0,72: 28% del CO₂ lo absorben los océanos

A: factor de absorción de los bosques (3.59 tCO₂/ha) (GFN, 2014)

FE_b : factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)

MATERIALES

Para el cálculo de la HE producida por los materiales de construcción empleados en la recuperación se tiene en cuenta la energía incorporada del material, abarcando parte de su ciclo de vida, concretamente se considera la energía incorporada para su fabricación, así como la energía del transporte desde la fábrica o polvero hasta la obra analizada y la energía requerida en su implantación.

Del BCRR se extrae los materiales que se usan en la obra así como la cuantificación de cada uno de ellos, para esta cuantificación se han empleado los materiales genéricos existentes en el BCCA, por lo que no poseen marca comercial específica ni definición de país o región de origen, definiéndose unas distancias medias de transporte para cada familia de materiales. Al centrarse el ámbito en Andalucía y teniendo en cuenta tanto aspectos económicos como ambientales, como se ha hecho lo largo de toda la investigación, se establece cómo hipótesis que la mayor parte de los materiales empleados son fabricados en Andalucía, por lo que se considera como distancia más desfavorable el punto más alejado desde Sevilla, capital de la comunidad andaluza y ubicación del estudios de aplicación de la presente tesis, con una distancia de 412 km. Hay casos particulares como el hormigón para el que se establece una distancia máxima de 20 km, según las consideraciones marcadas por la EHE_08. Art. 71,4. Para el caso del acero, los datos estadísticos establecen que la ciudad española con más empresas dedicadas a la fabricación de acero es Barcelona con un total de 734 empresas que fabrican este material, en segundo lugar Madrid con 587empresas y Sevilla estaría ubicada en la séptima posición de la lista con 144 empresas, por lo que vamos a considerar que el acero se transporta desde Madrid por contar con un elevado número de empresas en el sector y estar a una distancia de 530 km, ya que Barcelona está a mayor distancia, lo cual encarecería demasiado el producto, tanto económica como ambientalmente.

El transporte se cuantifica diferenciando por familias de materiales: acero, arena, hormigón, cerámico, escayolas y yesos, cobre, cal, porcelana, cemento, PVC, madera, latón, piedra, aluminio, polietileno, poliestireno, poliéster, pintura y vidrios. En la Tabla 5.30 se muestra a modo de ejemplo el cálculo de la huella del transporte de cuatro familias de materiales, el resto de materiales pueden consultarse en el Anexo III de la presente tesis.

	acero	aluminio	arena	hormigón
Peso de materiales (T)	5,38	3,43	704,99	85,96
Capacidad máxima camión (T)	24	24	24	24
Distancia media total a fábrica o polvero (km)	530	412	412	20
Consumo medio gasoil del camión (l/100km)	26	26	26	26
Factor emisión gasoil (tCO ₂ /l)	0,0026	0,0026	0,0026	0,0026
Número de camiones	1	1	30	4
Factor de absorción (tCO ₂ /hag)	3,59	3,59	3,59	3,59
Factor equivalencia bosques (hag/ha)	1,26	1,26	1,26	1,26
HE de energía del transporte de materiales (hag)	0,08	0,06	1,91	0,01

Tabla 5.30: Ejemplos de cálculo de la huella del transporte de los materiales

El tipo de transporte a utilizar también ha de ser establecido en la hipótesis tomada, se considera un camión con una capacidad media expresada en toneladas y un consumo medio de gasoil (o gasolina) expresado en litros cada 100 km (Tabla 5.30). Partiendo de estos datos y del peso de cada material, se obtienen el número de camiones necesarios. Con el consumo medio del camión y la distancia recorrida por el mismo para cada material se consigue la cantidad de litros de combustible consumidos y este dato se transforma en huella de la energía, la cual se le sumará a HE la total de la energía incorporada de los materiales. A continuación se especifica la expresión empleada en el cálculo de la HE derivada del transporte de los materiales (Martínez Rocamora, 2016):

$$HE_{t.mat} = \frac{\left(\frac{C_{mi}}{C_{carga}} \cdot D\right) \cdot C_c \cdot E \cdot 0,72}{A} \cdot FE_b \quad (9)$$

Donde:

HE_{t.mat}: huella ecológica parcial del transporte de materiales (hag)

C_{mi}: consumo del material i (t)

C_{carga}: capacidad de carga (t)

D: distancia media (km)

C_c: consumo de camiones (l/100 km)

E: factor de emisiones (0.0026 tCO₂/l)

0,72: 28% del CO₂ lo absorben los océanos

A: absorción de los bosques (3,59 tCO₂/ha) (GFN, 2014)

FE_b: factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)

Originariamente en el modelo de HE aplicado a edificación (Solís-Guzmán, 2011), la HE procedente de los materiales de construcción se calculaba mediante la energía incorporada a los materiales (MJ/kg), obteniéndose dicha energía incorporada de diversas fuentes, por lo que se aplicaba el valor de energía medio de los valores disponibles siempre que no existiese una gran disparidad en los mismos. En la presente tesis la HE de los materiales se obtiene a través de las emisiones de CO₂ generadas en los procesos de transformación de los materiales de construcción, estos factor de emisión se obtienen de la misma fuente, la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent database, 2015). Estas emisiones son convertidas en hectáreas teniendo en cuenta las fuentes

energéticas empleadas en la transformación de las materias primas y finalmente se aplica el factor de equivalencia de los bosques que absorben el CO₂ emitido, mediante aplicación de la siguiente expresión:

$$HE_{mat} = \frac{C_{mi} \cdot E_{mi} \cdot 0,72}{A} \cdot FE_b \quad (10)$$

Donde:

HE_{mat}: huella ecológica de materiales de construcción (ha)

C_{mi}: consumo del material i (kg)

E_{mi}: factor de emisiones del material i (tCO₂/kg)

0,72: 28% del CO₂ lo absorben los océanos

A: absorción de los bosques (3,59 tCO₂/ha) (GFN, 2014)

FE_b: factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)

Para poder aplicar la expresión anterior es necesario desarrollar un proceso previo, en el cual se conviertan todas las unidades de medida de los productos de construcción a kg, ya que las bases de datos de análisis de ciclo de vida (ACV) definen las toneladas de CO₂ que contiene cada kg de material. Para realizar estos cambios de unidad de medida a kg de material se ha recurrido como fuente de información al Catálogo de Soluciones Constructivas del Código Técnico de la Edificación (CSC) y al Documento Básico de Seguridad Estructural del Código Técnico de la Edificación, así como al documento de acciones en la Edificación (Real Decreto 314/2006) (DB-SE AE) para obtener las densidades o dimensiones típicas de los materiales de construcción (Freire y Marrero, 2015). En la Tabla 5.31 se muestran las conversiones realizadas a algunos de los materiales analizados, el resto de conversiones pueden ser consultados en el Anexo III.

Código ud	Resumen	Cantidad (ud)	Dimensiones			Cambio unidades			Kg/ud	Kg/totales	Fuente
			Dim x	Dim y	Dim z	Kn/m3	Kn/ud	Kn a kg			
ACERO											
CA80067	m Camisa acero S 375 JR diám. 60 mm y esp. 5,5 mm	2.988,34	3,14	0,06	0,01	78,50	0,08	101,97	8,30	24.798,4	DB-SE AE
IF27500	m Tubo acero galvanizado diám. 2 1/4"	7,57	1,00	0,06	0,01	78,50	0,02	101,97	2,28	17,27	DB-SE AE
CERÁMICO											
FL00400	mu Ladrillo cerám. Hueco doble 24x11,5x7 cm	40,02	0,24	0,12	0,07	12,00	0,02	101.970,0	2.364,1	94.610,2	DB-SE AE
RS00500	u Baldosa cerámica 10x20 cm	13.910,9	0,10	0,20	0,002	18,00	0,001	101,97	0,07	1.021,32	DB-SE AE
MADERA											
KM01000	m Cercosapelly 70x40 mm	732,26	1,00	0,07	0,04	5,00	0,01	101,97	1,43	1.045,36	DB-SE AE
KM08000	m Tapajuntas sapelly 60x15 mm	1.490,68	1,00	0,06	0,02	5,00	0,005	101,97	0,46	684,02	DB-SE AE

Tabla 5.31. Proceso de conversión de materiales a kg

La HE producida por los materiales, tanto en el transporte como en la transformación de los mismos es traducida a HE fósil, ya que dichas emisiones derivan del consumo energético. Sin embargo queda por calcular la HE producida por los materiales de madera, los cuales no generan HE fósil, sino que su impacto se traduce en HE de bosques, que dependen de la productividad de la madera en función de su tipología (Tabla 5.32). La HE de bosques producida por el consumo de materiales de madera se obtiene a partir de la siguiente expresión (Martínez Rocamora, 2016):

$$HE_{mad} = C_{mad_i} \cdot P_{mad_i} \cdot FE_b \quad (11)$$

Donde:

HE_{mad} : huella ecológica de materiales de madera (ha)

C_{mad_i} : consumo de material de madera i (t ó m³)

P_{mad_i} : productividad de material de madera i (t ó m³)

FE_b : factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)

Tipo de madera	Ud	Productividad (Ud/ha)
Madera aserrada y madera contrachapada	m ³	1,82
Tablero de partículas	m ³	1,28
Tablero de partículas densidad meda-alta	m ³	0,98
Pastas de madera y papeles de impresión	t	0,38-0,75

Tabla 5.32. Productividades medias de los materiales de madera.

RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

Cómo puede desprenderse del desarrollo metodológico realizado, el presente modelo se basa en la evaluación de las huellas que producen los costes reflejados en el presupuesto (BCCR), por lo que es imprescindible que los RCD estén incluidos en dicho presupuesto y así formen parte de la huella total del proyecto de recuperación. En cumplimiento del Real Decreto 105/2008, esta inclusión en el presupuesto se realiza en capítulo independiente (Marrero y Ramírez, 2010), concretamente en el capítulo 17: Gestión de Residuos, respetando la división de recursos desarrollada en el modelo HE: materiales, maquinaria y mano de obra.

En el caso particular de los residuos generados durante la implantación de los materiales en obra, procedentes de las perdidas por restos, despieces o roturas producidas durante el proceso de ejecución de las distintas unidades de obra, estos ya han sido incluidos en la huella de los nuevos materiales a implantar, cuantificados en los diferentes capítulos del presupuesto. En cambio, las máquinas empleadas en sus transportes internos y en los transportes hasta el vertedero o planta de tratamiento, forman parte de la huella de los RCD, y se calcula a través de los litros consumidos en dichos transportes, considerando los rendimiento de los vehículos y la distancia recorrida, los cuales se convierten en HE mediante la ecuación (9) (Marrero et al. 2014).

Por último, la mano de obra del transporte de los RCD también genera un impacto que se traduce en HE producida por la mano de obra y se calcula mediante el procedimientos descrito en el apartado "MANO DE OBRA".

Concluido el desarrollo metodológico del cálculo de los costes ambientales producidos de manera directa y continuando con el desarrollo del esquema del modelo HE aplicado a recuperación (Fig. 5.4), se procede al desarrollo de la metodología de cálculo de los costes ambientales indirectos procedentes de los datos generales del proyecto, no imputables a un trabajo en concreto por emplearse para más de un elemento dentro de la obra, pero que también se desglosaran en maquinaria, mano de obra y materiales.

Continuando con la referencia del BCCA, que permite asegurar la correcta cuantificación de los recursos asignados, se realiza el estudio de los costes indirectos retomando la tabla instrumental (Tabla 5.6) desarrollada en el apartado "Cálculo de Costes Indirectos de Ejecución (CIE)", donde se recogen todos los componentes que constituyen los conceptos imputables por vía indirecta. Cada componente se transforma en datos útiles para calcular la HE (horas anuales efectivas de trabajadores, consumos de combustible por la maquinaria, consumo de agua y electricidad en las casetas de obra, etc.), los cuales se muestran en la Tabla 5.33 con sus correspondientes códigos en el BCCA, e indicando los diferentes coeficientes a emplear.

Una vez transformados los datos iniciales de los costes indirectos en conceptos válidos para el cálculo de la huella, los elementos de la mano de obra y la maquinaria se calculan a través del procedimiento desarrollado anteriormente, quedando por definir el cálculo del consumo de energía eléctrica por las casetas. Para el cálculo de este consumo eléctrico de las casetas se parte de lo establecido en la ITC-BT-10 (Real Decreto 842/2002) para usos comerciales y oficinas, donde se marca un consumo de 0,10 kW/m², tomando este dato y las horas totales de uso de las oficinas, para lo cual se ha establecido como hipótesis de horas de oficina: 8 horas al día durante 5 días semanales y 52 semanas al año, se obtienen los kWh de energía. Establecido el consumo eléctrico, para obtener la HE fósil derivada se aplica la expresión (4) ya descrita para obtener la HE fósil de la energía eléctrica de la maquinaria.

CÓDIGO	CONCEPTO	Ud	
C12	COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CIE)		
C121	MANO DE OBRA INDIRECTA		
C1211	Encargado	mes	Coficiente (h/m²)
C1212	Capataces	mes	
C1213	Almaceneros	mes	127,08
C1214	Guardería y Listeros	mes	
C122	MEDIOS AUXILIARES		
C1221	Mano de Obra Auxiliar		Coficiente (h/m²)
C12211	Personal transporte interior	m ²	0,02
C12212	Personal de limpieza general y regado	m ²	0,05
C12213	Recogida y transporte de útiles y herramientas	m ²	0,04
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas		Coficiente (h/mes)
C12231	Medios de Elevación		
C122311	Grúa	mes	127,08
C122313	Manipulador telescópico	mes	
C122314	Plataformas elevadoras	mes	
C122315	Montacargas	mes	101,67
C12232	Hormigoneras	mes	
C12233	Cortadoras	mes	
C123	INSTALACIONES, ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS		
C1231	Casetas de obra		Coficiente (kWh/m²)
C12311	Oficinas	m ²	
	Aseos y vestuarios	m ²	
	Comedor	m ²	
	Sala primeros auxilios (> 50 trabajadores)	m ²	208,00
C12312	Sala de Reuniones	m ²	
C12313	Almacenes	m ²	
C1234	Consumos		
C1235	Consumo Eléctrico	m ²	
C124	PERSONAL		
C1241	Técnicos Adscritos a la Obra		Coficiente (h/m²)
C12411	Jefe de Obra	mes	
C12412	Jefe de Producción	mes	127,08
C12413	Técnicos Auxiliares	mes	
C1242	Administrativos adscritos permanentemente a la obra	mes	

Tabla 5.33. Costes indirectos en términos necesarios para calcular la HE (Freire y Marrero. 2015)

AGUA CONSUMIDA

Originariamente en el modelo HE aplicado a edificación (Solís-Guzmán, 2011) la HE del agua se calculaba mediante predicciones a través de datos empíricos del consumo de agua en las obras, obteniéndose el consumo mensual medio de las obras y se multiplica por el número de meses de duración de la obra de recuperación. Al consumo de agua total se le aplica la de productividad de los bosques, factor de equivalencia y factor de productividad, obteniéndose HE de bosque. Pero este procedimiento se ha variado en la presente tesis, ya que de manera novedosa se evalúa la HE del consumo del agua a través de la energía necesaria para llevarlo al punto de consumo, incluidos los tratamientos anteriores y posteriores a los que ha sido sometida, la intensidad de energía (IE) se obtiene de la empresa de suministro (EMASESA, 2005). La HE derivada del consumo de agua se calcula a través de la siguiente expresión (Martínez Rocamora, 2016):

$$HE_{agua} = \frac{Ca_p \cdot IE_{a_p} \cdot E_{el} \cdot 0,72}{A} \cdot FE_b \quad (12)$$

Donde:

HE_{agua} : huella ecológica de consumo de agua (ha)

Ca_p : consumo de agua potable (m^3)

IE_{a_p} : intensidad energética del agua potable (0,44 kWh/ m^3)

E_{el} : factor de emisiones de la electricidad (0,000248 tCO₂/kWh)

0,72: 28% del CO₂ lo absorben los océanos

A: absorción de los bosques (3,59 tCO₂/ha) (GFN, 2014)

FE_b : factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)

SUPERFICIE CONSUMIDA

La metodología HE tiene en cuenta el suelo que es ocupado directamente por el edificio, el cual se considera que tiene productividad de suelo agrícola, dado que la mayoría de las infraestructuras y espacios construidos están ubicados en zonas de calidad agrícola, a menos que se tenga constancia expresa de que no lo sea (Wackernagel y Rees, 1997) (Borucke et al. 2013). Aunque esta afirmación es excesivamente generalista, se sigue la hipótesis establecida internacionalmente para el indicador HE, aplicando así los factores de equivalencia reconocidos a nivel internacional, como se viene realizando a lo largo de toda la aplicación metodológica. En el indicador se definen dos posibles tipos de territorio agrícola: bosques o cultivos, en esta aplicación se considera siempre que la parcela ocupada por el edificio es territorio de cultivos. Al considerarse suelo agrícola, el indicador establece que dicho suelo es biológicamente improductivo desde el momento en que se urbaniza.

En el presente análisis dicha superficie responderá al tamaño de la parcela donde está ubicado el edificio a recuperar, multiplicado por la fracción del año que durarán los trabajos. Por tanto, la HE de superficie consumida se obtendrá calculando la superficie ocupada por el edificio, sin aplicación de ningún factor de conversión ya que las unidades serán de superficie (ha) y se aplica el factor de equivalencia correspondiente al territorio donde se actúa, tal como se muestra en la siguiente expresión (Solís, 2011):

$$HE_{sup} = S \cdot FE_x \quad (13)$$

Donde:

HE_{sup} : huella ecológica superficie consumida (ha)

S: superficie de ocupación directa (ha).

FE_x : factor de equivalencia de la superficie construida (2,51 hag/ha).

Definido el modelo de cálculo HE aplicado a recuperación de edificios, así como el procedimiento de redacción y cálculo de los precios que conforman el BCCR, se cuentan con las herramientas necesarias para implementar el motor de cálculo que define el modelo de viabilidad económica y ambiental que se pretende en el presente estudio.

5.3. Obtención del modelo de viabilidad

El modelo de evaluación de viabilidad de la recuperación de edificios se genera mediante la integración del análisis de costes económicos y ambientales desarrollados por los procedimientos ampliamente descritos en los apartados anteriores, y toma forma a partir del motor de cálculo implementado a partir del programa Microsoft Excel. Este motor de cálculo parte de la creación del banco de cuantificación generado a partir del desglose de materiales, mano de obra y maquinaria cuantificados en el BCCR, recursos básicos que, cómo puede extraerse del procedimiento de cálculo del indicador HE aplicado a edificación, definen la huella generada en el proceso constructivo.

5.3.1. Integración de los costes económicos y ambientales

En este punto se desarrolla el procedimiento llevado a cabo para obtener el modelo de evaluación económica y ambiental, objeto de la presente tesis. Como ya se ha puntualizado al comienzo de la fase 2: "Análisis integral de costes", el punto de partida del desarrollo del modelo de evaluación es el aspecto económico, ya que a partir del banco de costes de recuperación (BCCR) se consigue obtener no sólo la valoración económica de la intervención, sino que nos proporciona los descompuestos de cada una de las partidas y los rendimientos y cantidades de los recursos empleados. Clasificados éstos en los elementos básicos totales, lo que permite evaluar esos impactos desde el punto de vista ambiental.

El procedimiento de integración de la parte económica (BCCR) y el modelo de cálculo HE aplicado a recuperación de edificios, se ha realizado a partir del programa Microsoft Excel mediante la creación del banco de cuantificación de recursos (BCRR) y de la hoja de selección de actuación y grado de intervención, cuyo procedimiento se describe a continuación.

Banco de cuantificación de recursos (BCRR)

Esta integración de costes económicos y ambientales parte de lo que se ha denominado Banco de Cuantificación de Recursos (BCRR), éste consiste en desglosar los distintos precios unitarios complejos (PUC) elaborados en el banco de costes de recuperación (BCCR) en horas de maquinaria, horas de mano de obra y cantidades de materiales (kg, m², m³, etc.) necesarios para llevar a cabo las actuaciones definidas en los distintos precios (Fig. 5.5). De esta manera y partiendo de los precios básicos contenidos en los precios unitarios simples (PUS), y/o auxiliares (PA) que forman los complejos (PUC), creados siguiendo la clasificación sistemática del banco de costes de la construcción de Andalucía (BCCA), se obtienen los datos necesarios para el cálculo de la HE aplicado a recuperación de edificios.

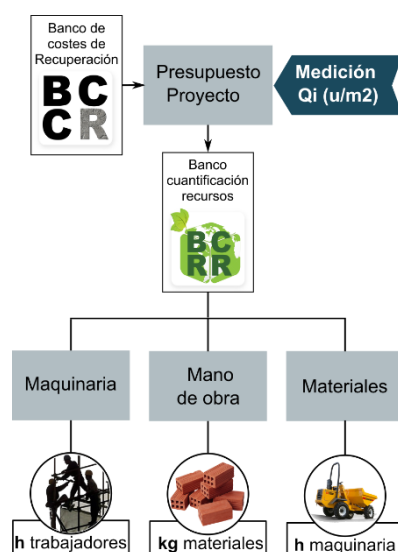


Figura 5.5. Esquema de recursos del BCRR

La aplicación del modelo de indicador de HE en fase de recuperación presenta dificultades añadidas, no sólo por la necesidad de crear epígrafes específicos de recuperación basados en hipótesis de las patologías presentes en el edificio, desarrolladas en el apartado 5.1.3. Definición del contorno de los precios de recuperación, sino también porque para el modelo se han creado PUC capaces de reunir los procedimientos de ejecución y las actividades necesarias para realizar los distintos trabajos que conllevan las unidades de obra de recuperación, cuyo desglose ha resultado bastante complejo, lo que ha requerido el desarrollo de una sistematización de dicha descomposición hasta los niveles más básicos de la estructura, desarrollada a continuación y recogida en el esquema de la plantilla BCCR (Tabla 5.34):

- Elaboración de la plantilla para el BCRR: en ella los precios unitarios complejos (PUC) se descomponen hasta llegar a los precios básicos (PB) situados en los niveles más bajos de la estructura de costes (Fig. 2.6), pasando por precios auxiliares (PA) y por los precios unitarios simples (PUS).

- Agrupación de los PB: se clasifican los recursos en materiales, mano de obra y maquinaria. De estos elementos básicos que constituyen los PA se extraen las cantidades (Q_u) de cada PB, de manera que queda reflejada la cuantificación con la que cada elemento básico interviene en la unidad de obra. Estas cantidades de elementos básicos serán a las que se le aplicará la metodología HE descrita, proporcionando el impacto que el consumo de estas cantidades de elementos suponen para el medio.

Del sumatorio de estas cantidades básicas se obtiene la cantidad que constituyen los precios auxiliares (Cantidad PA = Σ MAT, MO y MAQ).

- Extraer las cantidades de los precios: de cada PUS se han extraído las cantidades por módulo (Q_M) con las que el elemento básico interviene en el precio, así como los factores

de repercusión (F_R) correspondientes, de manera que mediante la aplicación de estos (Q_M y F_R) sobre el sumatorio de las cantidades de elementos básicos y auxiliares ($\sum Q_u$ PB/PA), queda reflejada la cantidad con la que cada elemento unitario simple interviene en la unidad compleja (Q_{PUS}).

- Aplicación de los precios: del mismo modo, a estas cantidades de elementos básicos se les aplica sus correspondientes precios (los precios aplicados son los establecidos en el BCCA para los elementos básicos), obteniéndose el importe de los precios unitarios simples (PUS) mediante sumatorio de básicos y auxiliares ($\sum PB/PA$) (Tabla 5.34). Para una mejor comprensión de la sistematización desarrollada ver el ejemplo expuesto en la tabla 6.2 de la siguiente fase "Validación del modelo".

BANCO CUANTIFICACIÓN RECURSOS (BCRR)										
NOMBRE DEL CAPÍTULO/SUBCAPÍTULO										
Nombre del Apartado										
PUC	PUS	PA	PB	ud	Descripciones	Medición		Precios		
Códigos										
Código PUC				u	Descripción PUC	Qi (u/m²)	Ga (%)	Sup. (m²)	Q _{PUC}	IMPORTE TOTAL PUC Σ PUS
	Código PUS			u	Descripción PUS	Cantidad ΣQu(PB/PA)	QM	FR	Q _{PUS}	IMPORTE PUS Σ PB/PA
		Código PA		u	Descripción PA	Cantidad PA = Σ MAT, MO y MAQ			PA= Σ PB MAT, MO y MAQ	
			PB	u	Materiales	Cantidades materiales (MAT)			PB materiales (MAT)	
			PB	u	Mano de obra	Cantidades mano de obra (MO)			PB mano de obra (MO)	
			PB	u	Maquinaria	Cantidades maquinaria (MAQ)			PB maquinaria (MAQ)	

Tabla 5.34. Esquema de la plantilla base del BCRR

- Obtención de las cantidades complejas (Q_{PUC}): para acabar con el proceso de sistematización desarrollado para elaborar el BCRR queda definir como se han obtenido las cantidades de los PUC (Q_{PUC}). Para ello es necesario definir un nuevo concepto, el cual en la investigación llevada a cabo se ha definido como cantidad Q_i .

• Definición de la cantidad Q_i :

El modelo de evaluación de viabilidad se desarrolla con el fin de ser aplicado a edificios de tipología residencial, de los que haya que decidir si recuperarlos o demolerlos y volver a construirlos. Para ello, las mediciones de las cantidades de elementos constructivos se obtienen de las medias de las mediciones reales realizadas sobre edificios de viviendas, cuyas características tipológicas coinciden con las identificadas como las más representativas en la primera fase de la tesis. De esta manera puede ser obtenida la estimación más próxima posible de las cantidades de cada componente del edificio residencial sobre el que se aplique el modelo de evaluación desarrollado.

Esto se ha conseguido incorporando al modelo de evaluación una base de datos con las mediciones reales de 94 proyectos de vivienda social en Andalucía, que parte del trabajo de Ramírez de Arellano (1988) y ha sido actualizado por González-Vallejo et al. 2015b. De esta base se han extraído las cantidades medias de cada proyecto, estas cantidades medias, expresadas en unidades de medición por unidad de superficie construida (u/m^2), es lo que se ha denominado como Q_i . Estos Q_i se

estructuran siguiendo la clasificación sistemática del BCCA (2014), de manera que se respete la coherencia del modelo desarrollado.

En la Tabla 5.35 se muestra a modo resumen las medias (Q_i) de algunas de las mediciones de los 94 proyectos de viviendas, concretamente se han extraído los Q_i de algunos de los proyectos englobados dentro de la tipología edificatoria de referencia identificada (Alba-Rodríguez et al. 2013). Para la aplicación de estos valores medios a la fase de recuperación de edificios, ha sido necesario calcular algunos Q_i no incluidos en González-Vallejo, et al. 2015b.

Los valores Q_i son diferentes para cada proyecto en función de: número de plantas sobre rasante, tipo de cimentación, estructura (muro de carga (MC), hormigón armado (HA), etc.), cubierta, así como el uso de planta baja, por lo que definiendo estos elementos del edificio objeto de estudio, el modelo selecciona y aplica los Q_i que le correspondan.

Definido el concepto de cantidad Q_i , puede continuarse con el procedimiento de obtención de las cantidades de los PUC (Q_{PUC}), el cual consiste en multiplicar las cantidades Q_i por la superficie total del edificio ($Sup. (m^2)$) y por el grado de actuación ($G_a (%)$) que establece el porcentaje de daño del elemento a recuperar. Este grado de actuación se establece en intervalos de 0% y 30%, 31% y 60%, 61% y 100%, en función del daño y del tipo de actuación a realizar sobre el elemento, en el apartado 5.1.3. Definición del contorno de los precios de recuperación se define actuación por actuación intervalo de porcentaje de actuación que es de aplicación.

		Características tipológicas					
Nº Plantas sobre rasante		4 plantas	3 plantas	4 plantas	3 plantas	4 plantas	3 plantas
Uso en Planta Baja		Viviendas	Viviendas	Locales	Viviendas	Viviendas	Locales
Tipo de Cimentación		Zapatas	Zapatas	Zapatas	Losa armada	Pilotes	Losa armada
Tipo de Estructura		MC	HA	HA	HA	HA	HA
Cubierta		Horizontal	Horizontal	Inclinada	Horizontal	Inclinada	Horizontal
CÓDIGO	CONCEPTO	$Q_i (u/m^2)$	$Q_i (u/m^2)$	$Q_i (u/m^2)$	$Q_i (u/m^2)$	$Q_i (u/m^2)$	$Q_i (u/m^2)$
03HA	m3. Hormig. Arm. Zapatas	0,05	0,07	0,05	0,16	0,07	0,17
04A	u. Arquetas	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
04C	m. Colectores	0,05	0,07	0,05	0,06	0,05	0,07
04B	m. Bajantes	0,11	0,11	0,11	0,08	0,11	0,11
05F	m2. Forjados	1,24	1,32	1,24	0,99	1,24	0,99
06DT	m2. Tabiquería (Partic.)	0,89	0,89	0,66	0,67	0,89	0,59
06LE	m2. Cerramiento ladrillo	0,95	0,97	0,95	0,73	0,95	0,97
06LI	m2. Fcas. Int. Ladrillo	0,35	0,35	0,3	0,28	0,35	0,29
07H	m2. Cubiertas Horizontales	0,29	0,39	0	0,29	0	0,39
07I	m2. Cubiertas Inclinadas	0	0	0,32	0	0,32	0
08CA	u. Aparatos Climatización	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
08CR	m2. Radiadores	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
08EC	m. Circuitos	0,71	0,71	0,53	0,62	0,71	0,47
08ED	m. Líneas y Derivaciones	0,14	0,14	0,11	0,11	0,14	0,09
08EL	u. Puntos de luz	0,13	0,13	0,1	0,12	0,13	0,09
08ET	u. Toma de corriente	0,25	0,25	0,19	0,19	0,25	0,16
08EP	m. Conductor Puesta Tierra	0,12	0,12	0,09	0,09	0,12	0,08
08FC	m. Canaliz. Agua Caliente	0,21	0,21	0,16	0,16	0,21	0,14
08FD	u. Desagües	0,09	0,09	0,07	0,07	0,09	0,06
08FF	m. Canaliz. Agua Fría	0,41	0,41	0,31	0,32	0,41	0,27
08FS	u. Aparatos Sanitarios	0,06	0,06	0,04	0,04	0,06	0,04
08FT	u. Termos/calentadores	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
11CL	m2. Carpintería Ligera	0,13	0,14	0	0,11	0	0,1
11M	m2. Carpintería Madera	0	0	0,02	0	0,02	0
11R	m2. Rejas	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0

Tabla 5.35. Ejemplos de valores medios de las mediciones (Q_i)

Este banco de cuantificación de recursos (BCRR), elementos imprescindible del motor de cálculo desarrollado, está formado por más de ocho mil filas que cuantifican, según la sistematización descrita y representada en la Tabla 5.34, todos los elementos que constituyen los precios y que provocan huella en la recuperación de edificios de manera directa.

De ahí el carácter imprescindible del BCRR, ya que al aplicar cada una de las formulaciones descrita en el apartado 5.2.1. Indicador HE aplicado a recuperación de edificios, sobre la cuantificación los rendimientos y cantidades de recursos básicos desglosados (mano de obra, materiales y maquinaria), se obtienen las HE parciales de: energía, bosques, cultivos, pastos, mar y superficie construida (Fig. 5.6), generadas por los impactos producidos por los recursos empleados en la recuperación, en función de la actuación y grado de intervención a realizar sobre los elementos constructivos.

Por lo que el siguiente paso en el desarrollo del modelo de evaluación consiste en un procedimiento de selección del tipo de actuaciones a realizar sobre los elementos constructivos del edificio a recuperar, así como el porcentaje de daño sobre el mismo.

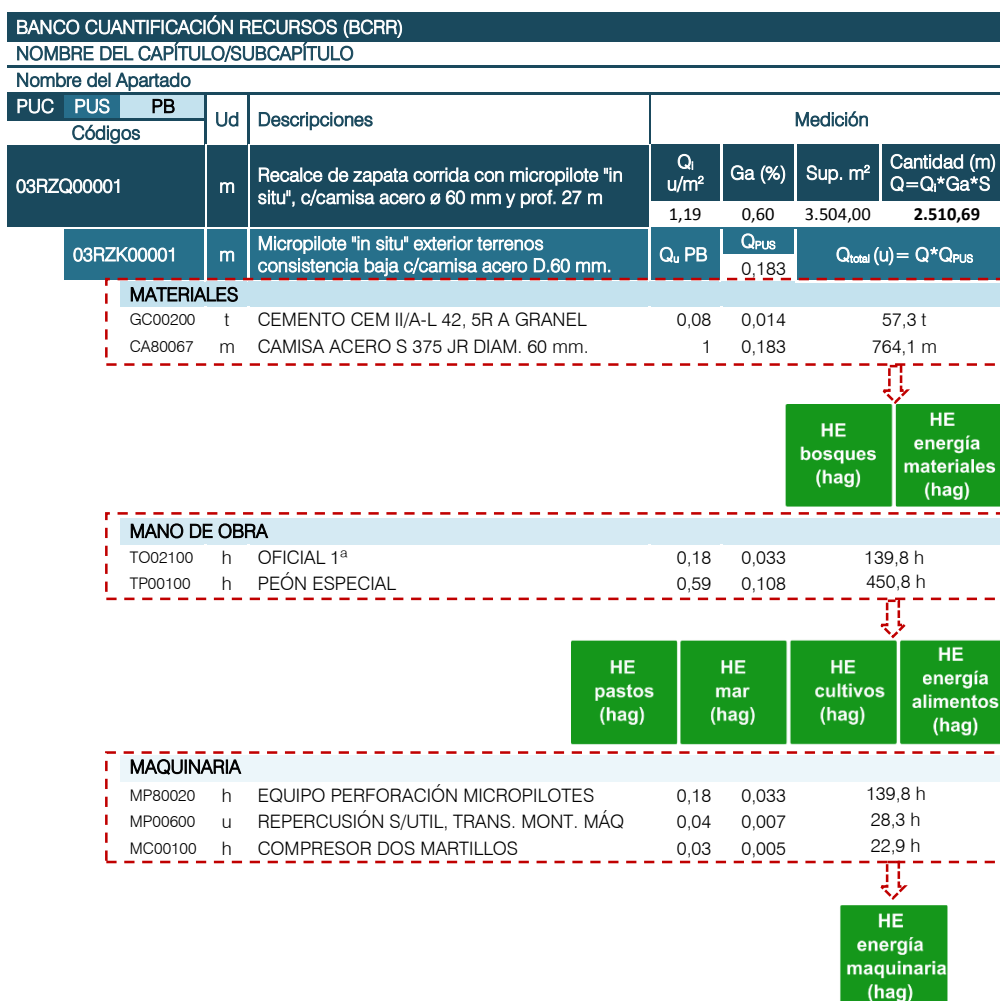


Figura 5.6. Esquema de cálculo de la HE a partir del BCRR

Hoja de selección de actuación y grado de intervención

Antes de seleccionar la actuación es necesario definir el tipo de cimentación, estructura y cubierta del edificio, ya que como se ha adelantado en la definición de las cantidades Q_i , estos datos se utilizan para asignar al edificio objeto de estudio los valores Q_i correspondientes a una de las tipologías de proyecto de los que se obtiene las mediciones medias empleadas en el estudio.

Definido el Q_i de aplicación, el siguiente paso es definir las actuaciones a realizar sobre el edificio, para ello se crea la hoja de selección de actuación, las actuaciones se introducen clasificadas en capítulos/subcapítulos/apartados, siguiendo la clasificación sistemática del BCCA, tal como se definen en el apartado 5.1.3. Definición del contorno de los precios de recuperación. La forma de vincular las diferentes posibilidades de actuación a un mismo apartado ha sido mediante la asociación del apartado del que se trate (pilotes, arquetas, etc.) con la actuación seleccionada (Tablas 5.36). En el anexo IV puede visualizarse el esquema completo de selección de actuación y grado de intervención.

CAPÍTULOS SUBCAPÍTULOS	APARTADOS	Q_i (u/m ²)	Actuación	Grado de actuación (%)
Se define la actuación a realizar				% actuación sobre el Q_i
CAPÍTULO 03. CIMENTACIONES				
03P	m. Reparación c/micropilotes	1,19	Recalce zapata c/ micropilote	1 a 60
CAPÍTULO 04. SANEAMIENTO				
04A	u. Arquetas	0,01	Sustitución y reposición	31 a 60
04C	m. Colectores	0,05	Sustitución y rep. c/polietileno	31 a 60
04B	m. Bajantes	0,09	Sustitución y rep. c/polipropileno	31 a 60

Tabla 5.36. Ejemplo de hoja de selección de actuación y grado de intervención.

Cada actuación está vinculada a un PUC, cuyos recursos necesarios para llevarla a cabo se encuentran desglosados y cuantificados en el BCRR, proporcionando resultados tanto desde el punto económico como el ambiental. Esta vinculación se hace posible gracias a la codificación desarrollada en la elaboración de los precios del BCCR (Fig. 5.2), que ha permitido la identificación precisa de los conceptos codificados gracias a la correspondencia biunívoca entre cada código y el precio que representa.

Del mismo modo se introducen los grados de actuación, en función del daño existente sobre el elemento a reparar los intervalos porcentuales son 1-30%, 31-60% y 61-100% (Tablas 5.36). Como ya se ha puntualizado anteriormente, en algunos elementos, si el daño es superior al 60% se plantea la rehabilitación energética según las exigencias mínimas establecidas en el nuevo documento básico ahorro de energía DBHE-1 limitación de la demanda energética (2013), asimismo, en algunos casos solamente se plantea la intervención integral en el elemento, por lo que los posibles grados de actuación a escoger serán 0% o 100%. Para concretar el grado de intervención que es de aplicación a cada actuación, ha de consultarse en el apartado 5.1.3. Definición del contorno de los precios de recuperación.

Llegados a este punto se considera que el modelo de evaluación está completo, pues al introducirse la actuación a realizar sobre cada elemento y el grado de intervención del mismo, el motor de cálculo dispone de los datos suficientes para extraer la cuantificación los recursos empleados y arrojar resultados económicos y ambientales de la recuperación.

Huella ecológica de la demolición y nueva construcción

Para poder comparar los resultados obtenidos de la aplicación del modelo de evaluación al edificio a recuperar con su nueva construcción, se emplean los resultados de investigaciones previas (González-Vallejo et al. 2015a y 2015b), donde siguiendo la metodología HE adaptada a la nueva construcción de edificios, se obtienen los consumos de recursos necesarios para construir edificios residenciales y sus correspondientes HE parciales y totales (Tablas 5.37 y 5.38).

Recursos (u/m ²)		Clasificación por tipología					
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
Peso materiales (kg)	Acero	21.40	20.66	20.66	51.88	16.34	45.27
	Hormigón	1219.22	1262.09	1262.09	1066.17	1055.19	1007.99
	Cerámico	405.35	293.38	344.42	297.14	356.57	300.44
	Otros	297.48	295.08	289.72	284.45	265.82	289.29
	Total	1943.46	1871.21	1916.90	1699.65	1693.92	1642.99
Energía incorporada (MJ)	Acero	855.81	826.40	826.40	2075.36	653.79	1810.79
	Hormigón	1225.54	1266.60	1266.60	1070.69	1058.35	1012.50
	Cerámico	1198.62	876.79	1024.81	886.95	1062.92	896.54
	Otros	2463.68	2213.95	2223.22	2073.13	2255.37	2106.07
	Total	5743.66	5183.75	5341.04	6106.13	5030.43	5825.90
Mano de obra	Rendimiento(h)	9.89	8.99	9.35	9.06	9.14	9.05
Maquinaria	Rendimiento (h)	0.39	0.32	0.32	0.37	0.25	0.34
Consumos	Energía (€)	72.21	43.64	42.67	42.52	42.89	43.65
	Electricidad (€)	70.91	42.65	41.68	41.15	42.19	42.47
	Agua (m ³)	0.12	0.06	0.06	0.09	0.03	0.03
Residuos (t)	RSU (E-03)	3.78	3.48	3.61	3.44	3.44	3.47
	RCD	0.13	0.15	0.15	0.12	0.14	0.12
Sup.consumida (ha) (E-05)		5.00	3.33	3.33	2.50	2.00	2.00

Tabla 5.37. Recursos totales por unidad de superficie (m²) y por proyecto (González-Vallejo et al. 2015b)

HE parcial (hag/m ²)	Clasificación por tipologías					
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
Energía	0,2	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17
Bosques	1,03 E-04	4,97 E-05	4,97 E-05	7,33 E-05	2,52 E-05	2,85 E-05
Pastos	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03
Mar	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cultivos	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Superficie	1,26 E-04	8,37 E-05	8,37 E-05	6,28 E-05	5,02 E-05	5,02 E-05
HE Total	0,277	0,232	0,237	0,243	0,23	0,241

Tabla 5.38. HE parciales, total y por persona (González-Vallejo et al. 2015b)

Esta comparativa es posible porque dicho estudio para nueva planta contiene las mismas tipologías de edificios residenciales que contempla el modelo de evaluación de viabilidad en la recuperación de edificios. El estudio de tipologías edificatorias de nueva planta (González-Vallejo et al. 2015a y 2015b) se realiza a través de informes estadísticos oficiales, donde se identifican las características principales de las viviendas construidas en España durante el período 2007 a 2010, resumidas en tipologías de edificios residenciales y soluciones constructivas representativas (Tabla 5.39). También se han identificado características comunes en todas ellas, como son la carpintería exterior de aluminio, la carpintería interior de madera, las instalaciones de evacuación de aguas residuales, suministro de agua potable y agua caliente sanitaria, características que coinciden con los elementos constructivos definidos en el desarrollo del modelo de recuperación a la hora establecer la hipótesis de actuación que se descomponen en los PUC elaborados para el modelo de evaluación desarrollado.

CARACTERÍSTICAS	CODIFICACIÓN DE TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS					
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6
Tipo de residencia	PLURIFAMILIAR					
Superficie útil	72	72	72	70	72	72
Nº de plantas sobre rasante	2	3	3	4	5	5
Caract. constructivas	E. vertical	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Hormigón	Hormigón
	E. horizontal	Unidireccional	Unidireccional	Unidireccional	Losa	Unidireccional
	Cubierta	Plana	Inclinada	Plana	Plana	Plana
	Cerramiento	Otros	Cerámico	Cerámico	Revestimiento	Pétreo
Acabado interior	Solería	Pétreo	Madera	Cerámica	Pétreo	Cerámica
	Falso techo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Instalaciones existentes	Calefacción	Sí	No	Sí	Sí	Sí
	Refrigeración	No	No	No	No	No
	Ascensor	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Energía instalada	Gas ciudad	No	Sí	No	No	No
	Energía solar	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Plazas de garaje	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Promoción	Privado	Cooperativa	Sociedad	Sociedad	Sociedad	Sociedad

Tabla 5.39: Tipología de viviendas (González-Vallejo et al. 2015b)

Esta coincidencia tipológica permite al motor de cálculo, según las características del edificio residencial a recuperar, seleccionar en la base de datos introducida en el modelo con la información económica y ambiental de nueva planta, la tipología edificatoria coincidente en función de número de plantas sobre rasante, tipo de cimentación, cubierta y el uso de la planta baja.

Para que la comparativa sea completa, a los resultados obtenidos de la base de datos de nueva construcción del edificio en función de las características coincidentes ya mencionadas, hay que sumarle los costes de la demolición previa que debe realizarse del edificio existente. En el modelo de evaluación estos datos se han obtenido aplicando el mismo procedimiento de sistematización del BCRR (Tabla 5.34) con el que se han

descompuesto y cuantificados los recursos del BCCR, tanto a los precios de demolición incorporados al modelo de evaluación (Tablas 5.21 y 5.22) cómo al precio de gestión de residuos (Tabla 5.23). A estos precios se les calcula la huella de su maquinaria, transporte y mano de obra siguiendo el procedimiento de HE desarrollado.

Etapa 2: Objetivos, metodología y desarrollo

Fase 3: Validación del modelo

METODOLOGÍA Y DEARROLLO

6. Fase 3: Validación del modelo

6.1. Presentación del estudio de caso: Barriada “RENFE”

Como ya se ha introducido, el modelo de evaluación se aplica sobre el estudio de caso de experiencias previas en la recuperación de edificios. Para ello, se cuenta con información detallada de una obra de recuperación de gran interés en los últimos tiempos debido a las circunstancias que la promovieron. Se trata del proyecto de recuperación del edificio de viviendas de la denominada “Barriada RENFE” o Viviendas RENFE”, situadas al norte del casco histórico de la ciudad de Sevilla, más concretamente en el Distrito Macarena.

El origen de este conjunto de edificios se enmarca a mediados del S.XX, cuando a instancias de RENFE, de quien toma nombre la barriada, y conjuntamente con el Instituto Nacional de la Vivienda promovió su ejecución en los terrenos aledaños a sus instalaciones ferroviarias, para dar alojamiento a sus trabajadores.

La elección del citado edificio como estudio de caso se debe a que reúne varias particularidades que le dotan del suficiente interés para el estudio desarrollado en el presente trabajo. Por una parte se trata de una edificación que comparte las características propias y diseño formal de las viviendas sociales de los años 50-60 y que son comunes a muchas de las promociones de viviendas obreras que se realizaron en la ciudad en esa época como respuesta al desarrollo demográfico e industrial, enmarcándose así dentro de los rangos señalados en la primera fase del estudio, tanto en el rango de antigüedad establecido para las edificaciones como por su ubicación en la identificada como zona de actuación prioritaria. Por otro lado, se trata de un edificio que precisó de una actuación de emergencia debido a un accidente que convirtió en inminente la necesidad de realizar obras de recuperación en el citado edificio, pues durante las operaciones de vaciado de un solar aledaño a la mencionada barriada, en el que se encontraba en construcción la Facultad de Enfermería de la Universidad de Sevilla, se produce el desplazamiento de un muro pantalla del sótano con la consecuente descompresión del terreno. Esto produjo un asiento diferencial en la cimentación, con la aparición de grietas y fisuras que constataban el riesgo estructural, haciendo necesario el desalojo urgente de las viviendas y la atención de las personas afectadas.

Como puede desprenderse de las circunstancias que dan origen a las obras de recuperación de las viviendas, son muchas las variables a tener en cuenta en la decisión, no sólo se barajan aspectos técnicos y económicos en el proceso de decisión, sino que es de vital importancia el impacto social debido al gran número de vecinos que se ven afectados y a los que hay que proponerles de manera rápida y eficaz una solución (Ferreira, 2016).

Precisamente para evitar la falta de inclusión de todas las variables de interés, se pretende la creación de este modelo que permitirá realizar un análisis de costes integral y para ello se decide partir del citado estudio de caso, por considerarse completo tanto por coincidir

sus características constructivas con la identificadas como las más representativas en la primera fase del modelo, como por la amplia variedad de casuísticas patológicas y sociales que se desprenden de las circunstancias acaecidas.

A continuación se realiza una detallada descripción tanto del edificio como del entorno y de las circunstancias que acontecieron su estado patológico, resaltando los datos más significativos para la aplicación del presente modelo. La información ha sido extraída de la tesis doctoral de A. Ferreira (2016).

6.1.1. Descripción del estudio de caso

Entorno físico del edificio

El entorno en el que se emplaza el edificio objeto de estudio tiene gran trascendencia debido a su cercanía al río Guadalquivir, pues el marcado carácter fluvial del terreno es la base de la problemática surgida. Concretamente el edificio se encuentra situado al norte del casco histórico de la ciudad de Sevilla, a unos escasos 70 m de distancia al cauce original del Río Guadalquivir.

Para comprender mejor el porqué de la ubicación de dichas viviendas en esta zona, de uso agrario hasta mitad del siglo XIX, es necesario recapitular que en origen estas viviendas fueron promovidas por RENFE para alojar a sus trabajadores, ubicándolas en esta zona por la evolución que sufrió la misma de zona agraria a zona ferroviaria, actividad que ha caracterizado su evolución del entorno hasta inicios del siglo XXI. El asentamiento de estas instalaciones ferroviarias en la zona, concretamente los edificios destinados a talleres y la línea férrea que conectaba con la que posteriormente sería la Estación de Córdoba, inaugurada en 1859 (Rodríguez, 2002), se referencian por primera vez en el plano del Álvarez Benavides de 1868 (Figura 6.1).

Frente a la zona de talleres que se representan en la figura 6.1, se evidencia la presencia de un gran alfaque, este dato es altamente relevante en el caso de estudio, puesto que como se muestra al superponer la planimetría de 1884 sobre el trazado urbano actual de la zona (Figura 6.2), puede apreciarse como la barrada RENFE, donde se encuentra el edificio objeto de estudio, está asentada en los

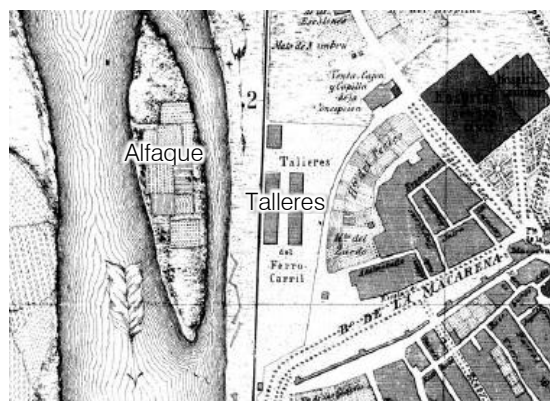


Figura 6.1. Plano de primer asentamiento de las instalaciones ferroviarias Álvarez Benavides 1868. (Cortes et al. 1992)

terrenos aledaños por donde discurría el caño menor del alfaque, a unos escasos 70 m de distancia del cauce original del río. La parcela de la facultad de enfermería, colindante a la barrada, sí que se asienta parcialmente en el tramo de dicho caño menor.

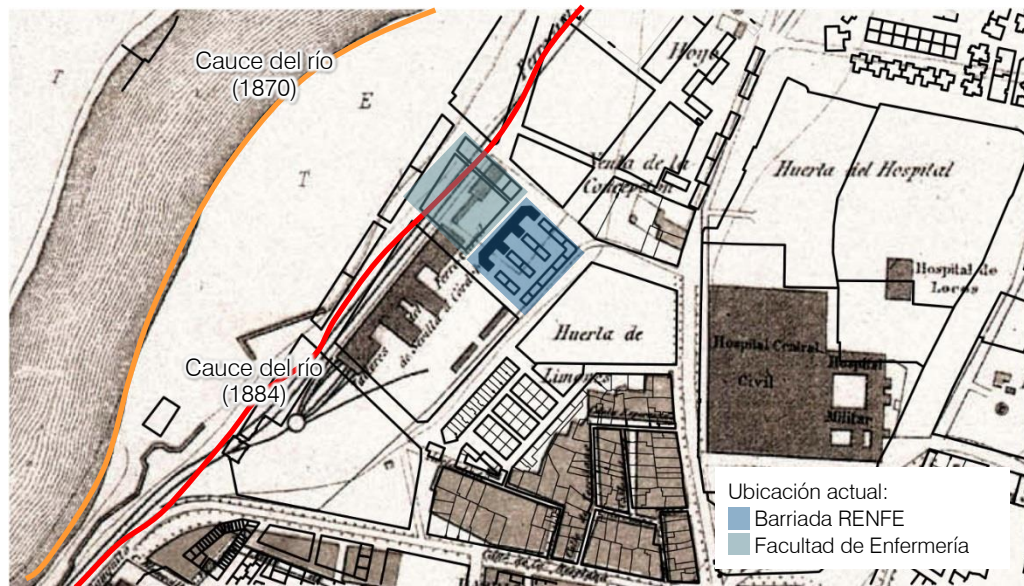


Figura 6.2. Superposición de la planimetría del Estado Mayor del Ejército de 1884 con el trazado urbano actual (Ferreira, 2016).

Geología del terreno

Lo anteriormente expuesto pone de manifiesto la importancia del marcado carácter fluvial del terreno donde se asienta la edificación objeto estudio de la presente tesis, razón por la que se hace indispensable que en este apartado dedicado a caracterizar y evaluar el entorno físico del edificio se abra este pequeño paréntesis para definir la geología del terreno en cuestión.

Las llanuras aluviales del Valle del Guadalquivir, como se denomina a la zona donde se asienta el edificio, concretamente en el primer meandro natural del cauce del río a lo largo de la ciudad, se define la zona en el Mapa Geológico de España 1:50.000 (Serie Magna) como tipo QT3, es decir, compuesta por cantos rodados, arenas y arcillas (Ministerio de Economía y Competitividad, 2014). En dicho mapa se aprecia que los márgenes del río se caracterizan por estar compuestos de limos, arenas y arcillas de origen cuaternario, bajo esta capa se encuentran las características arcillas grises y comúnmente denominadas margas azules. Una característica es la asimetría que presentan los márgenes del río, debido a la sedimentación por aporte aluvial del cauce natural del río y las erosiones propias de las formaciones de meandros. La ribera este, sobre la que se situaban las vías del tren y actual parcela de las Viviendas RENFE presenta una anchura inexistente en la ribera oeste (Fig. 6.3). Este punto refuerza la teoría previamente expuesta acerca del cegado de caños, alfaques en el río y su aprovechamiento ferroviario.

Dadas las características aluviales del terreno y la influencia del río en la zona, es muy importante tener en cuenta la posición y variabilidad estacional del nivel freático, pues influye directamente en las características físicas del terreno.

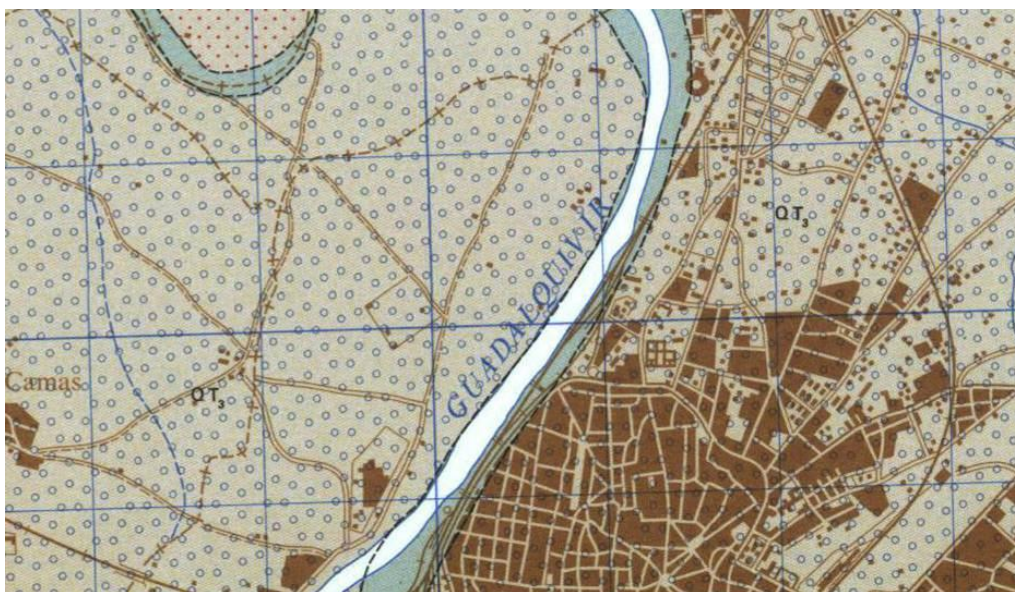


Figura 6.3. Mapa Geológico de España 1:50.000 (Serie Magna) del Ministerio de Economía y Competitividad. 2014. Hoja: 984. (Ferreira, 2016)

Estas deficientes características portantes del terreno serán el origen de la consecución del accidente sufrido en los aledaños del edificio y que afectarán gravemente a la edificación objeto de estudio, las circunstancias que acontecieron el accidente serán analizadas en apartados posteriores de esta sección.

Orígenes de la barriada RENFE

El origen de la construcción de la barriada reside, como en muchos otros núcleos residenciales promovidos por RENFE en los años 50, en la necesidad de dotar de viviendas a sus trabajadores. Ello conlleva la creación de núcleos o incluso poblados en zonas cercanas a las instalaciones ferroviarias creando colonias de trabajadores, hecho que igualmente fue favorecido por la creación del Instituto Nacional de la Vivienda, cuya finalidad era la de promover y financiar la construcción de viviendas protegidas asequibles para los trabajadores (De Luis, 2003). Este aspecto queda presente dada la similitud tipológica y constructiva de otras barriadas obreras de Sevilla contemporáneas a la Barriada RENFE (Barriadas Huerta del Carmen o Pío XII).

La zona mantiene su carácter ferroviario hasta que la presión demográfica desplaza la industria implantada en el entorno, a finales de los años 80 se inician las obras de desmantelamiento de la infraestructura ferroviaria a fin de su renovación y centralización en la nueva Estación de Santa Justa, construida para la Exposición universal de 1992.

La reurbanización de la zona tal y como está configurada actualmente se realiza de 1995 por la Gerencia de Urbanismo, dotándose de infraestructuras adecuadas y una nueva organización basada en el carácter residencial de la misma. La zona aledaña a la denominada Torre de los Perdigones, tras la demolición de los restos de la fábrica original, queda configurada como zona verde y el espacio entre esta y la Barriada RENFE es zona educativa universitaria.

A partir de finales de los años 90 se construyen los bloques de viviendas de la prolongación de Torneo y tras ellos, la construcción de las actuales Facultades de Odontología, Fisioterápica y Enfermería, concentrando así el Campus de Ciencias de la Salud en la zona cercana al Hospital Universitario Virgen Macarena.

Cronología de ejecución del proyecto original

A fin de entender el comportamiento del conjunto edificatorio frente a los procesos patológicos sufridos, se profundiza en el estudio de la documentación técnica y administrativa relacionada con su ejecución, la cual se realizó en dos fases de 104 y 40 viviendas respectivamente. Constructivamente ambas fases difieren esencialmente en el tipo de cimentación, cimentándose la primera sobre pilotes, la segunda sobre zapatas corridas. A pesar de que ambas fases comparten parcialmente como arquitecto director a D. Fernando Barquín y Barón, tuvieron orígenes diferentes.

La primera fase es encargada por el Instituto Nacional de la Vivienda, tiene como origen un diseño del arquitecto D. Alfonso Fungairiño Nebot, este proyecto sería denominado: "Proyecto de grupo de 104 viviendas protegidas en Sevilla. Plaza de Armas." (Ministerio de Fomento, 1956). La segunda fase es diseñada en enero de 1957 por el arquitecto D. Fernando Barquín a instancia de RENFE y del Instituto Nacional de la Vivienda, denominada como "Ampliación en 40 viviendas en el grupo de 104 en Sevilla. Plaza de Armas. RENFE" en enero de 1957.

Durante la ejecución de la primera fase, se detectó que las características de terreno no eran adecuadas, considerándose que la cimentación definida en el proyecto original mediante relleno de zanjas por medio de hormigón armado era claramente insuficiente, puesto que la naturaleza del terreno reunía pésimas condiciones, apareciendo debajo del terreno una arcilla floja, seguida de gredas y encontrando aguas en profundidades variables alrededor de los 4 metros. Tras valorar algunas de las técnicas para cimentar edificios similares, el arquitecto decide sustituir la cimentación proyectada en origen, por una cimentación por pilotaje para garantizar la estabilidad de la cimentación, a pesar del alto coste derivado de esta técnica, no muy común en esos momentos.

A instancias de la Dirección General de RENFE, el 9 de enero de 1958, se aprueba el proyecto de la segunda fase denominado "Ampliación en 40 viviendas en el grupo de 104 en Sevilla. Plaza de Armas. RENFE" de fecha 6 de mayo de 1957, firmado ya por el arquitecto D. Fernando Barquín, donde se justifica la ampliación de las obras en 40 viviendas. Del análisis del conjunto de la documentación se ha podido comprobar que D. Fernando Barquín se hace cargo de las labores de la dirección de las obras tras la finalización de la cimentación de la primera fase.

Es relevante señalar, que a pesar de haber sido desechada en la primera fase la ejecución de la cimentación mediante relleno de zanjas por medio de hormigón armado, por considerarse esta insuficiente debido a las pésimas características portantes del terreno, esta es la solución constructiva adoptada en la ejecución de la cimentación de la segunda fase del grupo de 40 viviendas objeto del estudio de caso analizado y como se verá más

adelante, esta será la causa de que esta segunda fase sea la afectada por el accidente sufrido y que propician las obras de recuperación del edificio.

Con fecha 17 de febrero de 1958 se realiza la recepción provisional de las 104 viviendas de la primera fase y, posteriormente, con fecha 18 de julio de 1959 la recepción provisional de las 40 viviendas de la segunda fase. Finalmente, el día 23 de agosto de 1960 y reunidos los representantes del Instituto Nacional de la Vivienda, de RENFE, de la constructora y el arquitecto director, se recibieron de manera definitiva las 144 viviendas correspondientes a la totalidad del grupo.

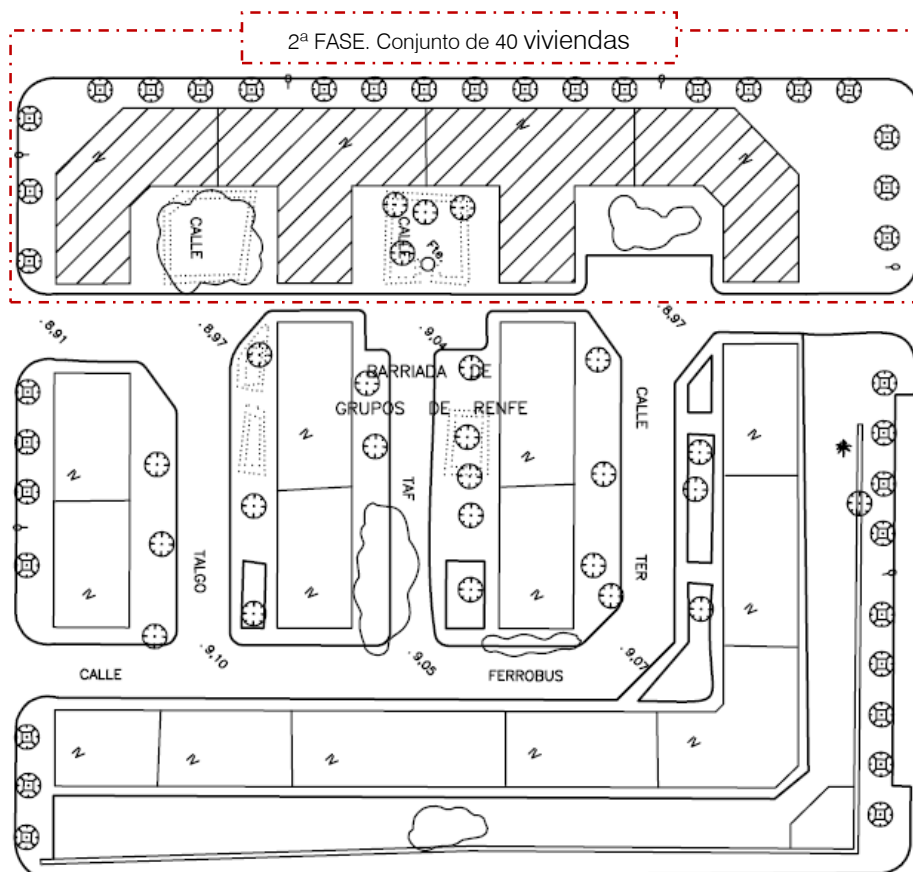


Figura 6.4. Disposición de las edificaciones que constituyen la Barriada RENFE.

Descripción constructiva del edificio

El presente estudio se centra en el análisis de la segunda fase, correspondiente a la ampliación de 40 viviendas, estas se desarrollan en PB+3, el acceso a las viviendas se realiza desde las calles interiores de la barriada, denominadas TER, TAF y Talgo (Figura 6.4), siendo un total de 40 viviendas distribuidas de la siguiente manera: TER 8 (8 viviendas), TAF 6 (12 viviendas), TAF 1 (12 viviendas) y Talgo 1 (8 viviendas). Con una planta de 876,00 m², el total de la edificación cuenta con 3.504,00m² de superficie construida.

La edificación comparte las características propias y diseño formal de las viviendas sociales de los años 50-60 y que son comunes a muchas de las promociones de viviendas obreras que se realizaron en la ciudad en esa época como respuesta al desarrollo demográfico e industrial.

La cimentación original consiste en un sistema de zapatas corridas de hormigón en masa, sobre el cual se dispone una viga armada de 35 cm de espesor y 1.20 m de canto (Figura 6.5). Transversalmente se compone de dos crujiás cuya longitud abarca la totalidad del edificio, con juntas de dilatación entre los distintos bloques, las crujiás apoyan sobre tres muros de carga, dos de fachada y uno interior, realizados con ladrillo macizo hasta la primera planta, las dos superiores se realizan con hiladas verdugadas de ladrillo macizo y hueco.

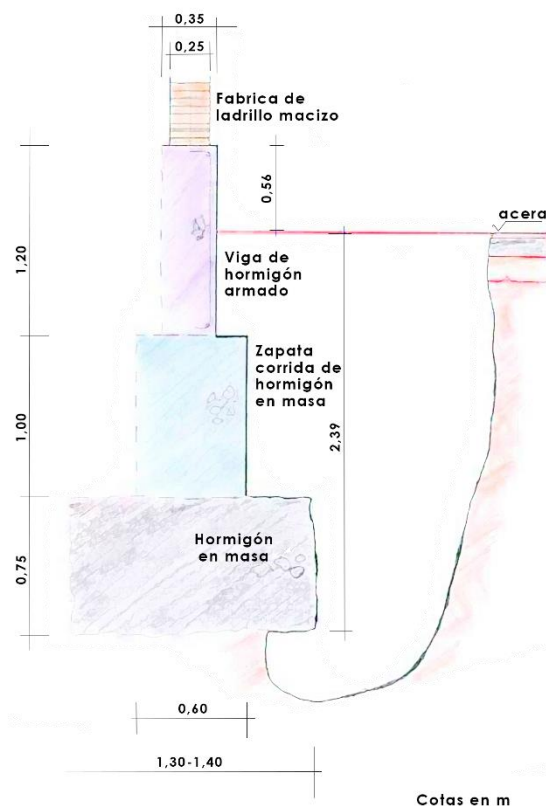


Figura 6.5. Detalle de cimentación pre-existente
(Ferreira, 2016)

Los forjados del edificio, del sistema denominado “autárquico” (Elabora, 2010 b), propios de la época dominada aún por la escasez de materiales heredada del aislamiento económico de España tras la Segunda Guerra Mundial. Se caracterizan por ser un sistema realizado “in situ” mediante piezas cerámicas de aligeramiento, hormigón de bajas características y barras de acero liso. La conexión entre plantas se realiza por

escaleras de dos tramos de bóvedas de ladrillo macizo siendo la técnica usual en la época de construcción.

La cubierta plana no transitable es accesible únicamente desde el bloque Talgo 1, la formación de pendientes se realiza con carbonilla y se reviste de baldosa 14x28, una solería pérdida y una de terminación colocada a la palma. Las juntas de dilatación de la cubierta coinciden con las de la estructura y la evacuación de las aguas se realiza mediante bajantes de fibrocemento.

La distribución interior de las viviendas varía conforme a la ubicación dentro del conjunto, todas cuentan con baño, cocina, salón y dos o tres dormitorios. En materia de instalaciones las viviendas están dotadas de suministro eléctrico y de agua, así como conexión a la red de saneamiento público. La dotación de ACS se realiza mediante termos de gas de combustión estándar, individual para cada vivienda. Carecen de instalación de climatización, empleándose por los usuarios del edificio aparatos eléctricos individuales de calefacción.

En su estado original, el exterior del inmueble se termina con mortero de cemento pintado en las fachadas, alfeizares de piezas cerámicas vidriadas y carpintería de madera en ventanas con vidrio simple. Los huecos de ventanas contaban con dimensiones variables (1.30mx1.60m, 1.30mx1.30m y 0.70mx0.70m) en función de su ubicación dentro de la distribución general del edificio.

No se aprecian ni se tiene constancia de que la edificación haya sido objeto de ningún tipo de intervención a nivel estructural ni formal. Los únicos cambios realizados en la edificación durante su uso han sido referidos a distribución y acabados interiores, dado que tras la venta de las viviendas por parte de RENFE a los inquilinos en los años 90, estas han sido revendidas a terceros o reformadas para adaptarlas a los gustos particulares, existiendo en el momento de la intervención una heterogeneidad completa en las 40 viviendas que forman el conjunto.

Circunstancias que acontecieron el accidente

A continuación se detallan las circunstancias que hicieron no solo necesarias sino inminentes la realización de obras de recuperación en el citado edificio.

En un solar aledaño a la mencionada barriada, se encontraba en construcción la Facultad de Enfermería de la Universidad de Sevilla, que forma parte del campus Ciencias de la Salud conjuntamente con la Facultad de Odontología y la Facultad de Fisioterapia. Aprovechando la reorganización urbana de la zona de la avenida de Torneo, este campus se enclava en los terrenos anteriormente ocupados por las instalaciones ferroviarias. La primera en implantarse es la Facultad de Odontología, tras ella la Facultad de Fisioterapia y por último la Facultad de enfermería (Fig. 6.6). El proyecto de la misma se encarga a los Servicios Técnicos de la propia universidad, siendo el proyectista el arquitecto Andrés Agudo Martínez. La ubicación del edificio en esta parcela responde a la firma de un convenio urbanístico entre el Ayuntamiento de Sevilla y la Universidad tras el cual quedó calificada en el Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) como dotacional público,

equipamiento educativo y sistema general. La parcela es de traza trapezoidal y de una superficie de 4.341,85m², se encuentra rodeada por las calles Avicena, Avenzoar y



Figura 6.6. Imagen aérea del Campus Ciencias de la Salud antes del inicio de las obras de la Facultad de Enfermería. (Ferreira et al. 2016)

Abulcasis.

Se proyecta un edificio de planta irregular desarrollado en 5 alturas sobre un aparcamiento subterráneo de cuatro plantas. En julio de 2008 se concede licencia por parte de la Gerencia de Urbanismo, siendo adjudicatario la Empresa Tecnología de la Construcción S.A. (TECONSA). Meses después de la adjudicación la empresa entra en concurso de acreedores por lo que se cancela el contrato habiéndose ejecutado únicamente los muros pantalla, los anclajes y parcialmente la excavación. Debido a los procedimientos administrativos de cancelación de contrato y la nueva licitación de las obras se produce un periodo de inactividad de más de un año (Fig. 6.7).

Tras este periodo la Universidad de Sevilla decide finalizar el proyecto en dos fases, la primera relativa exclusivamente a la estructura y la segunda al resto del edificio. La fase de estructura conllevó la ejecución del vaciado del vaso subterráneo y la estructura tanto bajo rasante como por encima de ella. La segunda fase, los trabajos de albañilería, cubiertas, instalaciones y revestimientos.

En las fechas previas a la aparición de la patología en el edificio de 40 viviendas de la barriada RENFE, la obra se encontraba en fase de excavación, realizada mediante bataches por la empresa que inició las obras. Alcanzada la cota necesaria para la ejecución de la cimentación interior, se hace necesaria la retirada de la rampa de acceso al fondo de la excavación (Fig. 6.7), confiando la estabilidad a los anclajes de los bataches realizados por la primera empresa adjudicataria, que sería la primera vez que entrarían en carga después de más de un año de su colocación.



Figura 6.7. Disposición de la rampa de acceso al fondo de la excavación
(Ferreira, 2016)

En la madrugada del día 17 de junio de 2010, los vecinos residentes en los bloques de viviendas de la Barriada RENFE, alarmados por la aparición de grietas en las viviendas, avisan a los Servicios de Extinción de Incendios y Salvamento del Ayto. de Sevilla. Los oficiales personados ordenan la evacuación inmediata de los edificios más próximos, estableciendo un cordón de seguridad alrededor de los edificios afectados y un corte de tráfico total en la calle Abulcasis. Como primera medida y dado que se observa un desplazamiento del lienzo del muro pantalla paralelo a la calle Abulcasis, se decide realizar un vertido del talud de bolos para contener el desplazamiento del muro pantalla y comprobar que las grietas del edificio no continúan en desarrollo, se comienzan las labores técnicas de estudio del terreno y de análisis de las soluciones a adoptar.

Conjuntamente a las reuniones de carácter técnico se mantuvieron una serie de reuniones con los representantes vecinales, organizados en torno a la denominada "Asociación de Vecinos La Barqueta-RENFE", a fin de tratar la crisis social generada por las circunstancias. Los vecinos, desalojados de madrugada, no disponen durante las primeras horas de los mínimos elementos necesarios ni pertenencias para su vida normal puesto que no se les permite el acceso a sus viviendas hasta los dictámenes técnicos preliminares. Estas reuniones entre el Ayto. de Sevilla, la Universidad y los representantes vecinales, desembocan como medidas inmediatas en el realojo provisional de los vecinos en hoteles cercanos en los días posteriores y su manutención por parte de la Universidad de Sevilla en comedores universitarios. Puesto que la duración de las obras de reparación se estima en un año, la Universidad de Sevilla decide alquilar 40 viviendas en los alrededores para alojar a los vecinos afectados. De igual modo se decide trasladar los enseres de las viviendas a almacenes.

Paliadas las necesidades de vivienda de los propietarios afectados y concluidos los estudios técnicos previos, se hace pública la conclusión de que las viviendas afectadas son reparables, asumiendo la Universidad de Sevilla la reparación dado el interés social de la intervención y puesto que, no entrando en cuestiones de causalidad, el origen de

las patologías se encuentra en la construcción de un edificio promovido por la propia Universidad.

Como puede desprenderse de las circunstancias que dan origen a las obras de recuperación de las viviendas, son muchas las variables a tener en cuenta en la decisión, no sólo se barajan aspectos técnicos y económicos en el proceso de decisión, sino que es de vital importancia el impacto social debido al gran número de vecinos que se ven afectados. Dado el elevado número de condicionantes, en este caso no fue analizado el impacto ambiental, precisamente para evitar la falta de inclusión de todas las variables de interés, se pretende la creación de este modelo que permitirá realizar un análisis de costes integral (económico y ambiental), permitiendo una evaluación mucho más ajustada de la viabilidad de la recuperación del edificio.

Daños sobre el edificio

Tras la primera inspección, se comprueba que los daños alcanzan exclusivamente al edificio de 40 viviendas de la Bda. RENFE, correspondiendo con el único edificio de la barriada cuya cimentación estaba realizada mediante zapata corrida en lugar de sobre pilotes. La relación causa-efecto quedó patente en el momento en el que se produjo el incidente, el movimiento del muro pantalla, debido a la inoperancia de sus anclajes, produjo una descompresión y desplazamiento del terreno de apoyo de la cimentación del edificio de viviendas. El cambio brusco de las condiciones de terreno produjo un asiento diferencial en su cimentación de zapatas continuas. Las características constructivas de dicho edificio, ejecutado con estructura vertical de muros de fábrica de ladrillo y su escasa rigidez, conllevó la aparición de múltiples fracturas en los muros estructurales.

Las circunstancias asociadas a los daños producidos en la edificación permitieron una confirmación inmediata de la hipótesis inicial, dada esta inmediatez, no fue necesario el paso previo relativo a inspección especial, comprobaciones y ensayos que estable la normativa UNE 41805:2009 de Diagnósticos de edificios en su metodología de diagnosis de daños, por lo que se procedió a considerar desde un principio las posibles medidas técnicas a adoptar para la intervención, que pasaba en primer lugar por el recalce de la cimentación.

Tras asegurarse la estabilidad estructural, se procedió a realizar una valoración del desarrollo de las lesiones mediante la monitorización del edificio, lo que permitió comprobar la efectividad del vertido del talud de bolos, adoptado como medida de seguridad para contener el desplazamiento del muro pantalla.

La monitorización consistió en la colocación de puntos de control en las fachadas de la calle Abulcasis, en la fachada interior y en la fachada de los edificios colindantes, así como dos bases de referencia fuera del ámbito de riesgo. El control se llevó a cabo durante un mes con periodicidad diaria, de estas lecturas se evidenció que en la fachada el asiento es progresivo hasta el día de la última medición, tendiendo a estabilizarse, lo que evidenció la efectividad de las medidas tomadas en el muro pantalla. Sin embargo,

los datos corroboran la necesidad del recalce al encontrarse el avance de las lesiones en un rango de velocidad media mensual cercana al 0.5mm/mes,

Otro de los parámetros tenidos en cuenta fue la deformada de la fachada producida por los asientos, esta deformación se refleja en la fachada del edificio en forma de arcos parabólicos de descarga que afectaron a los tres muros de carga del edificio (Fig. 6.8), siendo más afectado el de fachada a calle Abulcasis, disminuyendo en gravedad en el muro interior y en la fachada opuesta.

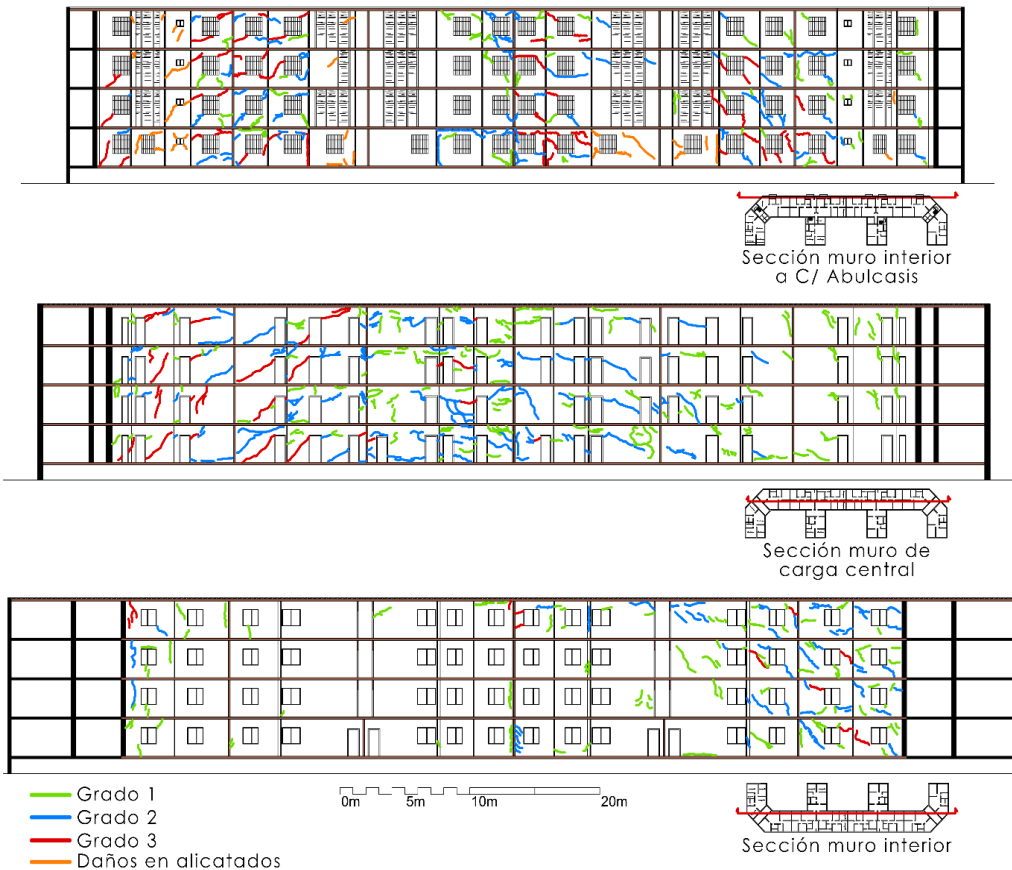


Figura 6.8. Arcos parabólicos de descarga por asiento diferencial de la fachada. (Ferreira et al. 2016)

Conjuntamente a este asiento vertical de la cimentación, se produjo un desplazamiento horizontal, esta combinación de movimientos es lógica dado que el desplazamiento del muro pantalla lleva aparejado tanto la descompresión del terreno como el deslizamiento en el sentido del movimiento. Este comportamiento conllevó la pérdida de linealidad tanto de la fachada como de los muros estructurales intermedios (Fig. 6.9).

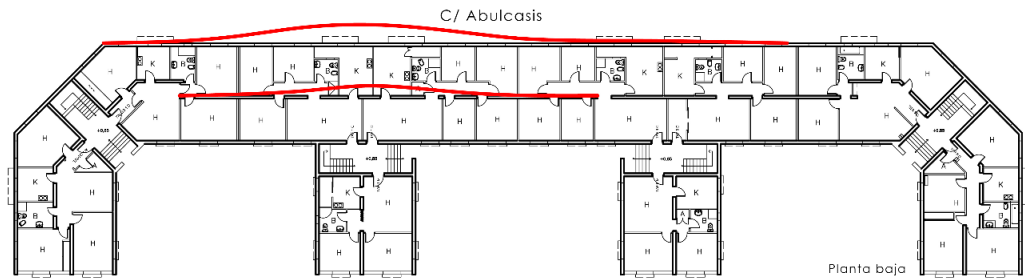


Figura 6.9. Desplazamiento horizontal de muros de carga. (Ferreira, 2016)

La tabiquería interior también se vio afectada en su gran mayoría. Si bien en los muros, dada la disposición paralela con la pantalla la rotura se produjo en arco de descarga, estas tabiquerías situadas de manera transversal sufrieron grietas y fisuras de carácter oblicuo, producidas por la tracción resultante del desplazamiento de la cimentación.

La afección del edificio no se limitó exclusivamente a los elementos estructurales verticales o tabiquerías, el desplazamiento y la aparición de grietas produjo daños en instalaciones, descuadres en carpinterías interiores y exteriores, revestimientos en general tanto en dependencias como en baños y concinas. Lo que implicó que los daños fuesen generalizados en el edificio, si bien, en función de la ubicación dentro del edificio, las lesiones en las viviendas varían desde escasas fisuras hasta grietas de gran magnitud, descuadres de carpinterías, daños en revestimientos e instalaciones inoperativas.

6.1.2. Aplicación del modelo al estudio de caso

Tras el diagnóstico de daños realizado sobre el edificio se procede a la aplicación del modelo, ya que estos daños marcan las actuaciones que serán necesarias para devolver la integridad al edificio. De dichas actuaciones se desprenden los recursos empleados, a través de los cuales el modelo de evaluación desarrollado nos devolverá los resultados económicos y ambientales que permiten conocer la viabilidad de la recuperación. Se abre el presente capítulo con el siguiente esquema (Fig.6.10) que permite sintetizar eficazmente el procedimiento de aplicación del modelo de evaluación.

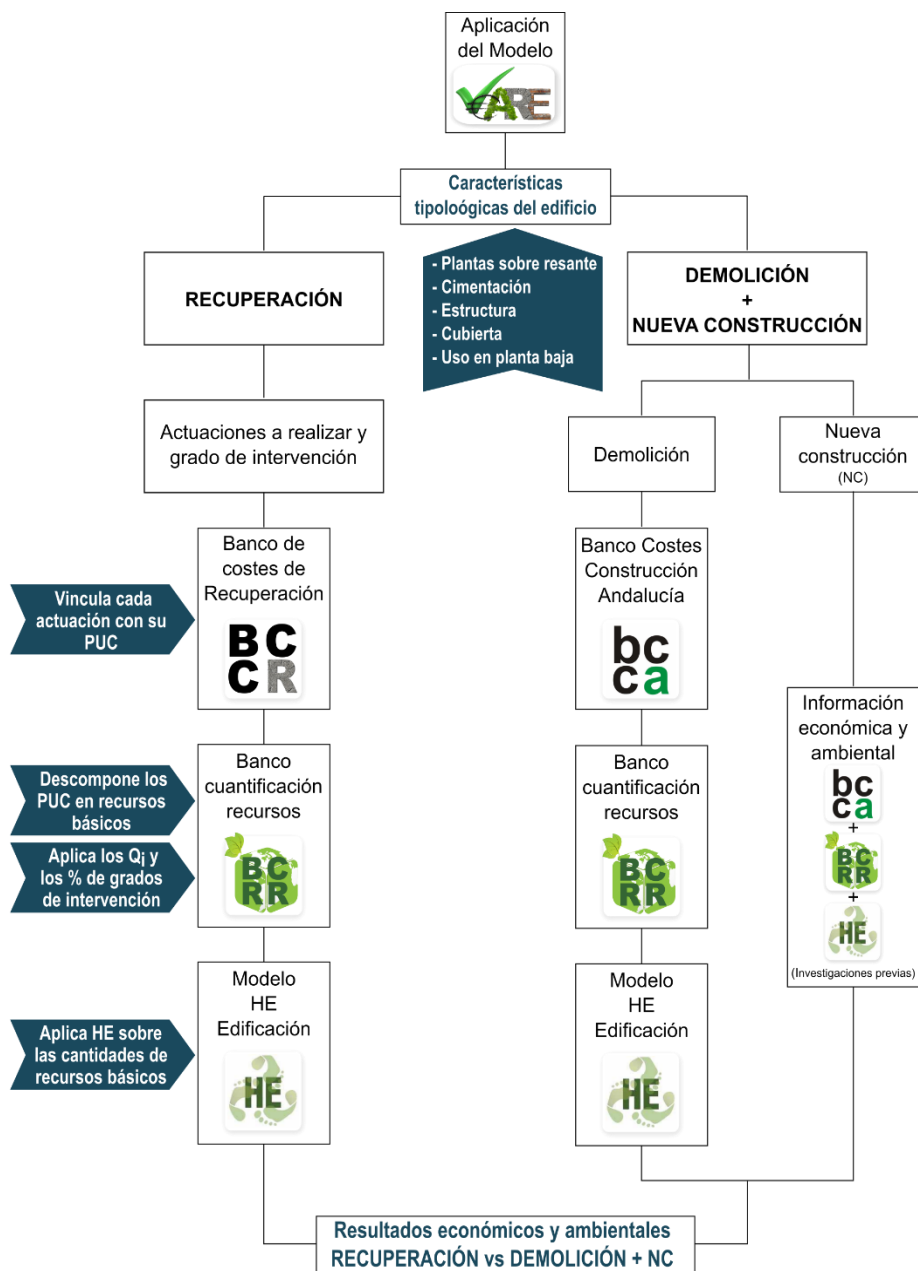


Figura 6.10. Esquema de aplicación del modelo

Actuaciones a realizar sobre el edificio y grado de intervención

Para definir las actuaciones desarrolladas sobre el edificio hay que recapitular hasta el apartado 5.1.3. Definición del contorno de los precios de recuperación, donde además de modelarse el contorno de PUC que configuran el BCCR y el grado de actuación en función del porcentaje del elemento afectado por el daño, se desarrollan por capítulos las actuaciones contenidas en dichos precios. Por lo que, con el fin de asegurar la coherencia de la presente investigación, se considera oportuno emplear esta misma estructura por capítulos puntualizando las actuaciones aplicadas sobre el estudio de caso referido en las secciones anteriores.

CAPÍTULO 03: Cimentaciones

Antes de entrar a detallar las intervenciones llevadas a cabo en este capítulo, cabe reseñar que los cambios en el terreno circundante a cualquier edificación unido a la tipología estructural del edificio suelen ser factores condicionantes de los daños en las cimentaciones. Las losas y los pórticos de hormigón armado son cimentaciones y estructuras monolíticas, capaces de absorber y minimizar los daños ocasionados por cambios en las condiciones del terreno, aunque en caso de producirse dichos daños este tipo de estructuras requieren reparaciones de gran envergadura que van, desde la colocación de estructuras adicionales al caso extremo que imposibilita la recuperación, debiendo producirse la demolición y nueva ejecución de las estructuras.

Por el contrario, cimentaciones y estructuras isostáticas como las cimentaciones corridas y muros de carga son más sensibles a los cambios producidos en el terreno, pero la gran capacidad adaptativa de estas estructuras y la sencillez de su construcción influyen positivamente en que las reparaciones sean técnicamente menos complejas y que incluso se mejoren las características originales de cimentaciones o estructuras. Esta tipología corresponde con el estudio de caso analizado, compuesta por cimentación con zapatas corridas de hormigón en masa, sobre las que se sitúa una viga de apoyo de la que arrancan los muros de carga que conforman sus dos crujías (Fig. 6.5), por lo que tras la estabilización del desplazamiento del muro pantalla, origen de las lesiones en el edificio de viviendas, y detenido el desarrollo patológico, se procede a estabilizar estructuralmente el edificio, siendo la reparación de las zapatas el precedente necesario para la posterior actuación sobre los muros de carga, estructura vertical del edificio, eliminando las grietas producidas por el asentamiento diferencial devolviéndoles su resistencia.

Recalce de zapata por micropilotes

La técnica del recalce va encaminada a recuperar la interacción entre terreno y cimentación, clasificándose esta en tres grandes bloques en los que aglutinar las técnicas aplicables (Ferreira, 2016):

- Técnicas tradicionales. Consistentes en la profundización de la cota de apoyo de la cimentación hasta un estrato más competente o la ampliación de la superficie de apoyo para reducir los esfuerzos transmitidos al terreno (Romero Durán, 2007).

- Intervención en el terreno subyacente a la cimentación. Realizados por medio de inyecciones de diversos materiales directamente bajo la cimentaciones y con la finalidad de mejorar las características de este terreno. A este grupo corresponden las inyecciones armadas de cemento y las inyecciones de resinas expansivas de poliuretano (ERP) (Da Casa et al. 2007).
- Recalce por micropilotes. Buscan la transmisión directa de las cargas de la cimentación a un estrato competente por medio de elementos estructurales. Este grupo se compone básicamente de los micropilotes con cada una de sus variantes.

De entre estas técnicas disponibles y tras el análisis de los datos extraídos, se decide como técnica a implantar el recalce por micropilotaje, por ser el más idóneo para trasladar las cargas del edificio desde la cimentación al único estrato competente situado en las margas azules a 25 m de profundidad media. Concretamente se acomete el recalce de la cimentación con 232 micropilotes de tipo IR, de 27 m de longitud media y 140 mm de diámetro de perforación, con camisa de acero tipo N80 con 60.3 mm de diámetro y entre 5 y 10 grados de inclinación respecto del eje vertical; la distribución de estos se realiza al tresbolillo y a lo largo de todas las zapatas, separados 2 m entre ejes de micropilotes en zapatas exteriores y 1 m en interiores.

Con el fin de favorecer el apoyo del recalce en la zona de peor calidad del terreno, ya que el movimiento del muro pantalla provocó que los estratos superiores del terreno fueran los más afectados por la descompresión, se realiza la inyección a presión de lechada de cemento, esta consistió en realizar la perforación con la propia camisa, inyectar la lechada de cemento a baja presión hasta saturar el terreno para finalmente realizar la inyección del interior de la armadura a través de tubos maguito. Esta técnica se denomina "inyección en retirada" y la composición de la lechada fue una mezcla de cemento CEM II/A-L 42.5R y agua en una relación agua/cemento entre 0,40 y 0,55. Conjuntamente a lo anterior, puesto que en las armaduras se dispondrían válvulas anti retorno para las inyecciones de lechada, estas se dispusieron en los 7 últimos metros para la creación de un bulbo resistente justo bajo las zapatas del edificio. Con estas inyecciones controladas bajo las zapatas se realiza una mejora considerable de las características del terreno de apoyo (Fig. 6.11).

La aplicación del sistema de "inyección en retirada" en el recalce de la cimentación produjo un aumento del consumo de cemento considerable, llegando a consumirse 2,3 toneladas de lechada destinadas la mejora del terreno por cada tonelada de cemento consumido en la ejecución de micropilotes. Este elevado consumo de cemento lleva asociado un elevado consumo de agua, tras la finalización de la obra el contador marcó un volumen de consumo de 6.045m³, para hacer una representación gráfica, el volumen total de la edificación es de 10.937,50m³, por lo que el consumo de agua supuso un 55.26% respecto al volumen total de la edificación.

Este elevado consumo de materiales que dio lugar la ejecución del recalce, además de en el coste económico final, se verá reflejado en el resultado de Huella Ecológica durante el proceso de recuperación del edificio, pues como se puntualizó en la primera etapa, la HE se obtendrá de la cuantificación de los recursos consumidos durante la ejecución de las obra.

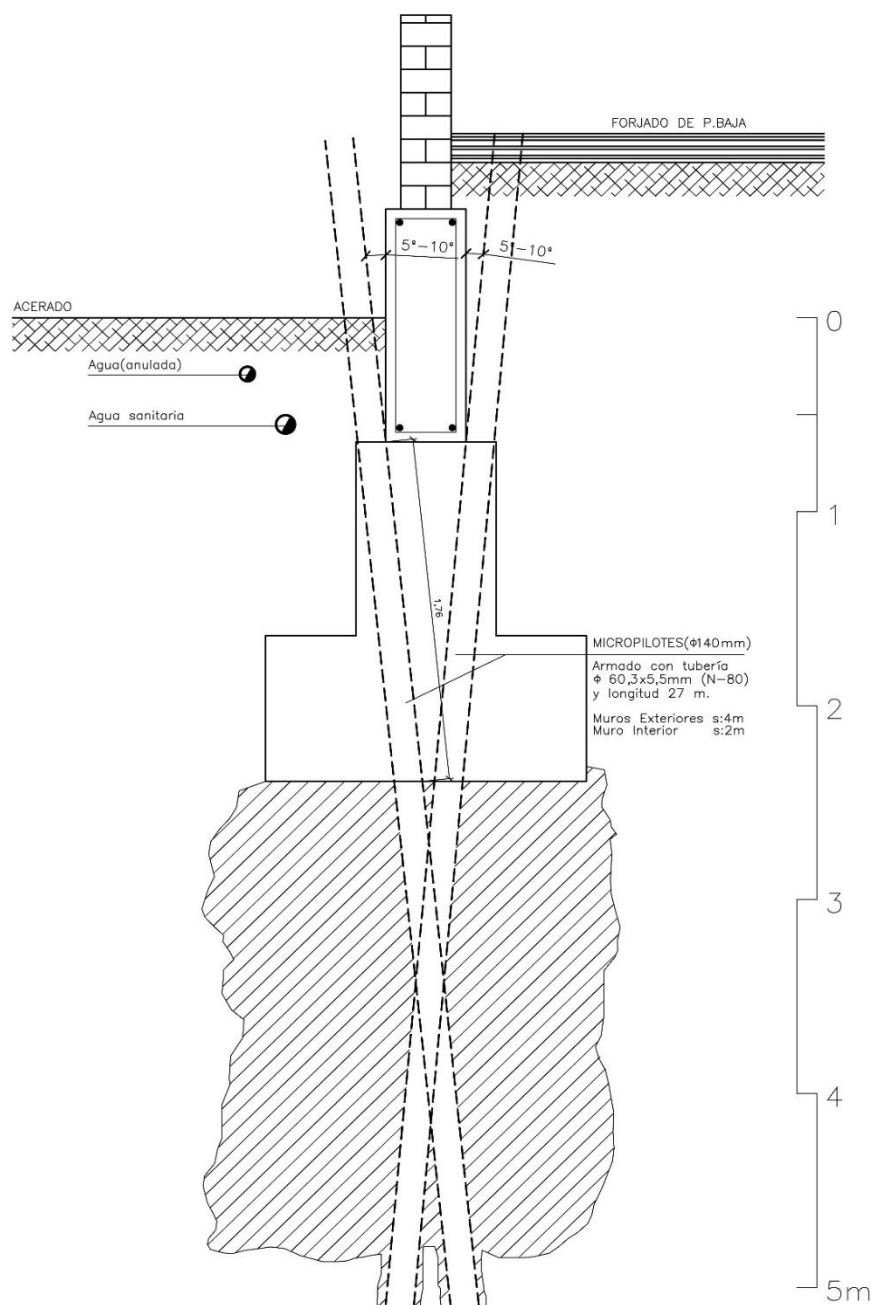


Figura 6.11. Detalle del recalce de la cimentación. Universidad de Sevilla.
Vicerrectorado de Infraestructuras (Ferreira et al. 2016)

Grado de actuación: a pesar de que la edificación se vio afectada en distinto grado, en función de la proximidad al punto de mayor desplazamiento del muro pantalla, se realizó la misma solución en la totalidad de la cimentación, considerándose el porcentaje de cimentación del edificio afectado por el daño de 61% a 100%. Esto se debe a que el recalce debe realizarse en la totalidad de la cimentación para evitar que se produzcan distorsiones, ya que en caso de realizarse recalces parciales se corre el riesgo de que se produzcan puntos resistentes en las zonas recalzadas y que el resto de la cimentación, en caso de asentamientos futuros, genere nuevos daños.

CAPÍTULO 04: Saneamiento

Como se indicó en la sección anterior, el nivel de daños varía en función de la posición dentro del edificio, no sólo a nivel estructural, pues a mayor cercanía al punto de mayor asiento también fueron mayores los daños en las instalaciones, produciéndose desperfectos en arquetas, colectores y bajantes, imposibilitando el correcto funcionamiento de la red de saneamiento.

Sustitución de arquetas, colectores y bajantes

La descompresión del terreno causó roturas y desplazamientos en los componentes de la red de saneamiento, tanto en arquetas como en las conexiones horizontales y verticales, colectores y bajantes. Por lo que para devolver la funcionalidad al sistema de saneamiento la actuación a realizar consiste en la sustitución de los elementos de la red.

Grado de actuación: debido a que los desperfectos producidos sobre la red de saneamiento derivan del movimiento del terreno, los elementos que presentan un mayor grado de afectación son los que constituyen la red horizontal del sistema, arqueta y colectores, por lo que el porcentaje dañado de estos elementos se estima del 61% al 100%. Mientras que los bajantes, elementos verticales del sistema de saneamiento, al alejarse en altura de los puntos de mayor afección presentan un menor porcentaje de daño, en torno a un treinta por ciento (Fig. 6.12).



Figura 6.12. Arqueta y colector de la red de saneamiento

CAPÍTULO 05: Estructuras

La estructura vertical del edificio está compuesta por muros de carga ejecutados en fábrica de ladrillo, por lo que las actuaciones de intervención de estos elementos

estructurales se desarrollan en el capítulo de albañilería, en el presente capítulo sólo se contemplan las actuaciones referidas a la estructura horizontal.

Refuerzo de capa de compresión del forjado

Con el asiento diferencial de la cimentación el forjado horizontal unidireccional se vio afectado en varios puntos, produciéndose grietas por la diferencia de desplazamiento entre el cuerpo principal y los cuerpos salientes del edificio (Fig. 6.16). Estas fracturas se produjeron en la dirección de las viguetas, no llegando a ocasionar fallo en la capacidad auto portante de los elementos del forjado, consistiendo la actuación tan sólo en la reparación de la capa de compresión.

Grado de actuación: al producirse las grietas en los puntos de encuentro entre el cuerpo principal del edificio y los salientes, debido a la diferencia de desplazamiento producido entre ambos en el momento de la descompresión, el porcentaje de superficie de forjado afectado por el daño se estima en torno al treinta por ciento.

CAPÍTULO 06: Albañilería

Como ya se ha puntualizado previamente, el edificio consta de dos crujías en toda su longitud, cuya estructura vertical se compone por tres muros de carga de fábrica de ladrillo macizo, uno interior y dos de cerramiento exterior, presentando estos en fachada tan solo un enfoscado, sin cámara ni trasdosado por el interior. Las particiones también se analizan en este capítulo por estar ejecutadas con tabiques de fábrica de ladrillo. Las actuaciones a realizar en este capítulo van encaminadas a subsanar las lesiones sufridas en las fábricas de ladrillo debido a los asientos producidos, ya sean muros de carga o tabiquería. Las lesiones asociadas a movimientos de las fábricas de ladrillo se clasifican en grietas, cuando son de gran calado afectando al espesor total de la fábrica (Fig.6.13) y fisuras cuando son de menor calado sin cubrir el espesor total de la fábrica, estas últimas no tienen afección estructural. El principal problema que presentan las lesiones en las estructuras de fábrica de ladrillo es que la aparición de grietas produce pérdidas en la homogeneidad de la estructura, esto afecta a la correcta transmisión de las cargas y evita que la estructura trabaje de una manera homogénea, creándose puntos con sobre esfuerzos que ponen en riesgo la estabilidad estructural de la fábrica.



Figura 6.13. Grietas y desplazamiento muro de carga (Ferreira, 2016)

Debido a la ineficiencia energética de los cerramientos exteriores del edificio, carentes cámara y aislamiento, y aprovechando la actuación de reparación necesaria para subsanar las patologías sobre dicho cerramiento estructural, se plantean actuaciones de mejora del estado inicial mediante la rehabilitación energética de la envolvente.

Reparación de grietas en muro de carga de cerramiento y rehabilitación energética

La reparación de las grietas se realiza mediante retacado, consistente en la demolición completa de la zona del muro afectada por la grieta en grupos de seis a ocho hiladas, con los bordes acabados en adarajas y reconstrucción de la parte demolida con ladrillo macizo trabado a la fábrica existente (Fig. 6.14). Con este sistema se consigue devolver la homogeneidad al conjunto de la fábrica de ladrillo, de modo que trabaje como un único elemento y vuelva a transmitir las cargas verticales a la cimentación recalzada.



Figura 6.14. Reparación de grietas mediante retacado. (Ferreira, 2016)

Una vez devuelta la homogeneidad estructural a la fábrica se completa la actuación mejorando energéticamente la envolvente, para ello se incorpora aislamiento a base de poliestireno expandido (EPS) de 80mm de espesor y revestimiento continuo. Esta actuación se realiza desde el exterior, de modo que no se reduce la superficie útil de las viviendas y no supone costes extra, ya que se emplean los mismos medios auxiliares que en la reparación de las grietas. Interiormente se realiza un enfoscado de cemento y un enlucido de yeso, devolviendo la continuidad y estética inicial al paramento.

Tal como se reportará cuantitativamente en el apartado de resultados, con esta mejora energética en el cerramiento y en el resto de componentes de la envolvente, descritos en sus correspondientes apartados, se consigue mejorar tres letras la calificación energética inicial del edificio.

Grado de actuación: el grado porcentual de actuación es del 100%, ya que la actuación de rehabilitación energética se realiza sobre la totalidad de la superficie de cerramiento.

Además de la subsanación de las patologías surgidas en la cimentación y en la estructura vertical, intervenidos en primer lugar por la necesidad de asegurar la seguridad estructural del edificio, han de acometerse los daños ocasionados en otros elementos como las tabiquerías.

El nivel de afectación de la tabiquería transversal varía en función de la cercanía al punto de mayor asentamiento, presentando leves niveles de afectación con fisuras de escasa entidad, hasta grietas de gran profundidad llegando incluso a contar con pérdida de parte de sus elementos. La zona más afectada fue la planta baja del edificio, en la que se

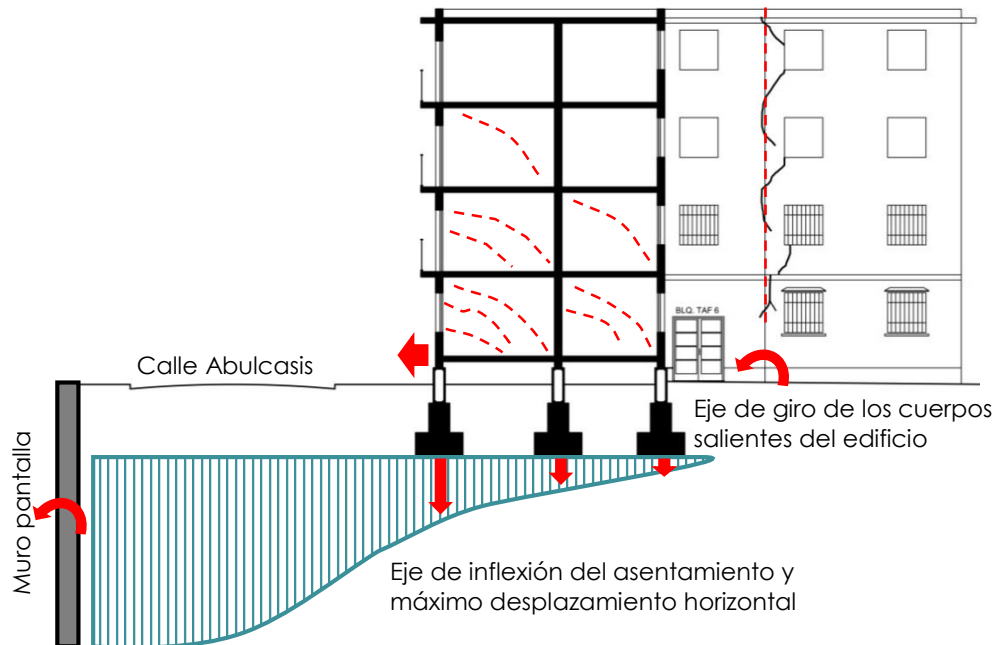


Figura 6.15. Representación de la afectación de la tabiquería en el eje de máximo asentamiento. (Ferreira, 2016)

produjo un mayor nivel de daños debido a la diferencia de asiento entre los distintos muros (Fig. 6.15).

Reparación de fisuras en tabiques

Para la reparación de las fisuras de menor entidad en la tabiquería, puesto que en estos casos la fisura de estos paramentos no compromete la integridad estructural y sólo afecta a su estética, se opta por introducir una malla de fibra de vidrio que refuerce la zona dañada y posteriormente devolver la continuidad a los revestimientos.

Grado de actuación: los tabiques afectados de fisuras representan en torno al 60% de la superficie de estos, corresponden a los que se encuentran más alejados de los puntos de mayor asentamiento.

Sustitución de tabiques

La tabiquería de planta baja fue la más afectada del edificio presentando un elevado porcentaje de grietas, en torno al 60% de su superficie (Fig.6.16), por lo que dado que estos paramentos no cumplen función estructural se considera conveniente realizar su

sustitución completa, tirándolos y levantándolos de nuevo sin modificar su disposición dentro del edificio.

Grado de actuación: los tabiques afectados de grietas representan el 40% de la superficie de estos, corresponden a la tabiquería de planta baja.

Reparación de grietas en muro de carga interior

La reparación de grietas en el muro de carga interior se realiza mediante el mismo procedimiento que en los muros de cerramiento, por retacado de las grietas con ladrillo, devolviendo la homogeneidad estructural a la fábrica.

Grado de actuación: en torno al 60% de la superficie del muro de carga interior se encuentra afectado de grietas.



Figura 6.16. Estado tabiquería interior planta baja (Ferreira, 2016)

CAPÍTULO 07: Cubiertas

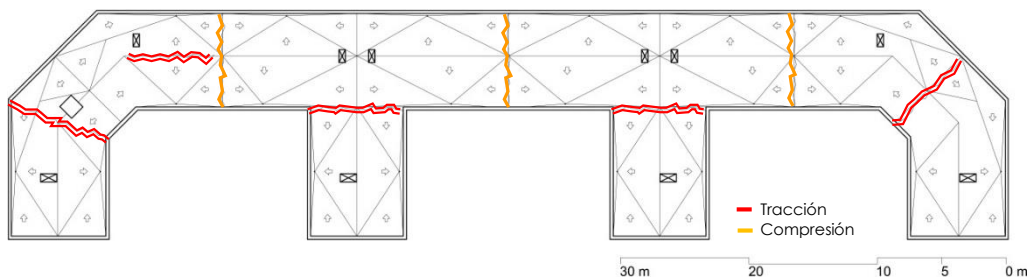


Figura 6.17. Representación de las fracturas producidas en cubierta. (Ferreira, 2016)

La cubierta se vio afectada en varios puntos debido a la diferencia de desplazamiento entre el cuerpo principal y los cuerpos salientes, esto se tradujo en la aparición de fracturas en toda la cubierta. Las fracturas se produjeron tanto a tracción, en los puntos en los que se separaban los volúmenes, como a compresión, coincidiendo estas con las juntas de dilatación entre los cuatro bloques (Fig. 6.17).

El proceso de reparación de la cubierta es de carácter integral, ya que además de subsanar las fracturas producidas, la actuación también va encaminada a mejorar la

eficiencia energética del edificio, al ser la cubierta parte de su envolvente es indispensable ejecutar una solución de cubierta que permita lograr la mejora planteada.

La reparación de las fracturas producidas a tracción se acometen mediante levantado de la solería y de la carbonilla de formación de pendiente, inspección de la fractura en el forjado para comprobar su geometría y posterior sellado de la fractura. La reparación de las juntas de dilatación, donde se encuentran las fracturas a compresión, se realiza mediante levantado de la solería de terminación y retirada de los elementos de sellado de plomo para posteriormente sellar de nuevo la junta con lamina asfáltica adherida por calor.

La rehabilitación energética de la cubierta se realiza mediante desmontado de las capas de la cubierta original y ejecución de una nueva cubierta plana invertida, se decide esta tipología por disponerse el aislante sobre la impermeabilización, protegiéndola de posibles punzonamientos y las consecuentes filtraciones de agua. La solución completa consiste en formación de pendiente sobre soporte resistente realizado con mortero aligerado, lámina de impermeabilización EPDM de 1,2mm de espesor, aislamiento térmico de poliestireno expandido (EPS) de 80mm de espesor, tejido antipunzonamiento y terminación con plaquetas de baldosas cerámicas. Como ya se ha puntualizado en el apartado de cerramiento, las nuevas soluciones constructivas realizadas sobre el conjunto de la envolvente del edificio consiguen mejorar tres letras la eficiencia energética del edificio, los resultados numéricos de estas mejoras se encuentran reflejados en el apartado de resultados de la presente tesis.

Grado de actuación: al igual que ocurre en los cerramientos, el grado porcentual de actuación es del 100%, ya que la actuación de rehabilitación energética se realiza sobre la totalidad de la superficie de la cubierta.

CAPÍTULO 08: Instalaciones

Al igual que ocurre en el resto de elementos del edificio, a mayor cercanía al punto de mayor asiento, mayores fueron los daños interiores y mayor afección sufrieron las instalaciones, existiendo casos extremos entre las viviendas situadas en la planta baja, que fueron completamente ejecutadas de nuevo debido a que se sustituyeron todas las particiones y las situadas en plantas superiores que apenas sufrieron daños en su interior.

Nueva instalación de sistema de climatización

El edificio no cuenta con instalación de climatización, por lo que se plantea la nueva instalación consistente en multisplit (unidad dividida multi-zona) con sistema inverter y bomba de calor, que permite adaptar el rendimiento y optimizar el consumo a las necesidades requeridas. La elección del sistema de climatización influye en la mejora energética del edificio, como se observa en los resultados obtenidos de la simulación realizada con la herramienta informática CE3, que permite obtener la certificación de eficiencia energética de edificios existentes.

Grado de actuación: al realizarse la nueva implantación de la instalación de climatización se actúa sobre el 100% de la misma.

Sustitución de instalación eléctrica

La actuación propuesta sobre la instalación eléctrica se centra en la sustitución y reposición de sus componentes: circuitos, líneas, derivaciones, puntos de luz y tomas de corriente, cuando se encuentren dañadas a causa de las lesiones sufridas en el edificio.

Grado de actuación: el porcentaje de los elementos afectados por el daño se estima del 31 al 60 por ciento, ya que en planta baja hay que reponerlos completamente mientras que en las plantas superiores la instalación eléctrica apenas sufrió daños.

Nueva instalación de puesta a tierra

Debido a la profunda actuación realizada en el recalce de la cimentación, se considera conveniente la implantación de una nueva instalación del conductor de puesta a tierra, asegurando así la correcta función protectora que debe cumplir este elemento de la red eléctrica.

Grado de actuación: al realizarse la nueva implantación de la puesta a tierra se actúa sobre el 100% de la misma.

Sustitución de instalación de fontanería

Del mismo modo, cuando se encuentren dañados a causa de las lesiones del edificio, se sustituyen los elementos que de la instalación de fontanería: canalizaciones de agua caliente, canalización de agua fría, desagües y aparatos sanitarios.

Grado de actuación: en el caso de las canalizaciones y desagües se estima un porcentaje de daño del 31 al 60 por ciento, ya que en planta baja hay que reponer completamente la fontanería y en plantas superiores los movimientos estructurales también han ocasionado daños, aunque en menor medida. En cambio, en el caso de los aparatos sanitarios, sólo se sustituyen del 1 al 30 por ciento de los aparatos, ya que estos apenas sufrieron daños en las plantas superiores del edificio.

Sustitución del sistema de producción de ACS

El sistema de producción de ACS se sustituye por un nuevo sistema apoyado en energía renovable, con el objeto de conseguir reducir el consumo energético del edificio, este consiste en un sistema comunitario dotado de placas de energía solar térmica que contribuyan a la producción de ACS con acumulador y sistema auxiliar individual por vivienda.

Grado de actuación: al ser un nuevo sistema de producción no implantado originariamente en el edificio ha de instalarse al 100%, es decir el sistema completo.

CAPÍTULO 11: Carpinterías y elementos de seguridad

Sustitución de carpinterías

Para completar la mejora de la eficiencia energética de la envolvente y cumpliendo con las exigencias del CTE-DB-HE1, se sustituyen las carpinterías exteriores originales por carpinterías ligeras de aluminio con rotura de puente térmico (RPT) y vidrio bajo emisivo formado por dos lunas pulidas incoloras con baja emisividad de 6 mm de espesor y cámara de aire deshidratado de 12 mm, consiguiendo con esta tipología de ventanas reducir la transmisión térmica y acústica.

Grado de actuación: se sustituyen todas las de las ventanas exteriores del edificio, por lo que el grado de actuación es sobre el 100% de las carpinterías de la envolvente.

Desmontado y reutilización de rejas

Las rejas de protección exterior, colocadas en los huecos exteriores de planta baja, presentan un estado de conservación que permite su recuperación, por lo que la actuación consiste en el desmontado, reparación y colocación de nuevo en su lugar.

Grado de actuación: se realiza la actuación en el 100% de los huecos dotados de rejas de seguridad y protección.

Definidas las actuaciones que son necesarias realizar sobre los distintos elementos constructivos afectados por la descompresión del terreno, así como el grado de afectación de cada uno de ellos, ya se está en disposición de introducir en el motor de cálculo dicha información, a través de la hoja de selección de actuaciones y grado de intervención (Tabla 5.17).

Asignación de PUC a cada actuación (BCCR)

El motor de cálculo del modelo de evaluación vincula cada actuación con su PUC, en la siguiente tabla 6.1 se muestran las actuaciones realizadas sobre el edificio, en ella pueden observarse, englobadas por capítulos, el código y la descripción corta del PUC aplicado para subsanar las patologías encontradas en los diferentes elementos constructivos del edificio de viviendas RENFE, así como el grado de actuación que expresa el porcentaje de afectación del elemento sobre el que se realiza la intervención.

CÓDIGO	UD	DESCRIPCIÓN PRECIOS UNITARIOS COMPLEJOS DE RECUPERACIÓN	GRADO DE ACTUACIÓN (%)
03. CIMENTACIONES			
03RZQ00001	m	Recalce de zapata corrida con micropilote "in situ", c/camisa acero ø 60 mm y profundidad 27,00 m	61-100
04. SANEAMIENTO			
04RAS50010	u	Sustitución de arqueta saneamiento de 63x63 cm y 1 m profundidad	61-100
04RES50010	m	Sustitución de colector enterrado con tubo polietileno 200 mm de diámetro	61-100
04RVS90010	m	Sustitución de bajante de polipropileno insonorizado, red mixta, al aire y bajo tabique	1-30
05. ESTRUCTURAS			
05RFU80001	m ²	Refuerzo de capa de compresión en forjado unidireccional	1-30
06. ALBAÑILERÍA			
06RLR05013	m ²	Reparación de grietas en muro de carga de cerramiento y rehabilitación energética por el exterior con EPS 80 mm.	61-100
06RLR70022	m ²	Reparación de fisuras con malla de fibra en tabiques de fábrica de ladrillo	31-60
06RLS80010	m ²	Sustitución de tabiques de fábrica de ladrillo	1-60
06RLR70011	m ²	Reparación de muro de carga interior	1-60
07. CUBIERTAS			
07RHR00152	m ²	Rehabilitación energética de azotea transitable, lámina EPDM 1,2 mm y EPS 80 mm	61-100
08. INSTALACIONES			
08RCS10100	u	Nueva instalación de climatización frío/calor sistema partido multisplit 3x1	100
08RES. Sustitución de instalación eléctrica			
08RES20010	m	Circuito monofásico para diversos usos y secciones	31-60
08RES20020	m	Derivación individual de suministro eléctrico	31-60
08RES20030	u	Puntos de luz empotrado	31-60
08RES20040	u	Toma de corriente empotrada para diversas secciones	31-60
08RES20050	m	Nueva instalación de puesta a tierra	100
08RFS. Sustitución de instalación de fontanería			
08RFS30010	m	Conducción de polietileno reticulado con coquilla aislante para ACS	31-60
08RFS30030	u	Sustitución de la red de saneamiento interior con desagües de tubo de polipropileno	31-60
08RFS30040	m	Conducción de polietileno reticulado para suministro de agua fría	31-60
08RFS30070	u	Sustitución de aparato sanitario y grifería	1-30
08RFS30090	u	Sustitución de sistema producción ACS por sistema comunitario con placas energía solar térmica con acumulador y sistema auxiliar	100
11. CARPINTERÍA, ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN			
11RVS12022	m ²	Ventana abatible aluminio lacado con RPT/bajo emisivo /T III, persiana aluminio de accionamiento manual	61-100
11RBL10010	m ²	Recuperación de rejas metálicas en huecos de fachada de planta baja	61-100

Tabla 6.1. Listado de unidades complejas de recuperación y grado de actuación de las intervenciones realizadas al edificio de viviendas RENFE.

Cuantificación de recursos (BCRR)

El banco de cuantificación de recursos (BCRR) descompone los PUC en recursos básicos según la sistematización desarrollada en el modelo de evaluación (Tabla 5.34). Es en este punto cuando el motor de cálculo aplica la medición de las cantidades (Q_i) así como el grado de actuación (G_a) en función de las características del edificio y el grado de afectación patológica del mismo, de este modo el motor de cálculo cuantifica las cantidades de recursos básicos que se requieren en la intervención de recuperación del edificio (Fig. 6.10).

A continuación (Tabla 6.2) se desarrolla a modo de ejemplo de aplicación un fragmento del BCRR, donde puede observarse de manera más pragmática la sistematización empleada. Concretamente se desarrolla el PUC de recalce de cimentación, precio que se ha venido tomando como ejemplo a lo largo de todo el desarrollo del modelo.

Puede observarse como partiendo del PUC este se desglosa en los PUS que lo componen y a su vez este se disgrega en elementos básicos: materiales, mano de obra y maquinaria. Aplicando la cantidad de cada elemento básico que interviene en el precio unitario simple (Q_{PUS}) por la cantidad total de metros de recalce se obtiene la cuantificación de recursos básicos que intervienen en el PUC (Q_{PUC}). Estas cantidades, correspondientes a las cantidades resaltadas en la tabla 6.2, serán sobre las que se aplique la metodología HE descrita para obtener los resultados de impacto ambiental que generan las actuaciones realizadas sobre el edificio.

Del mismo modo, dado que con el modelo desarrollado se pretende una doble comparativa considerando también el aspecto económico, se aplican los correspondiente precio unitario a las cantidades extraídas, obteniéndose el importe económico tanto a nivel unitario (IMPORTE PUS) como el importe total de cada PUC.

Como ya se ha introducido, el modelo de viabilidad pretende comparar el impacto económico de la recuperación del edificio frente a su demolición y nueva construcción, para ello el motor de cálculo paralelamente a la cuantificación descrita para la recuperación, obtiene los resultados de HE y económicos referidos a la construcción de un nuevo edificio, con las mismas características constructivas que el edificio origen y calidades medias (Fig.6.10). Esta comparativa es posible porque el modelo de evaluación cuenta con una base de datos con información económica y ambiental relativa a nueva planta, donde se reflejan los resultados obtenidos en investigaciones previas (González Vallejo et al.2015a y 2015b). Los resultados de la presente aplicación se muestran en la siguiente etapa de la presente tesis.

BANCO CUANTIFICACIÓN RECURSOS (BCRR)											
NOMBRE DEL CAPÍTULO/SUBCAPÍTULO											
Nombre del Apartado											
PUC	PUS	PB	Ud	Descripciones	Medición					Precios	
Códigos					Q	Ga	Sup. m²	Cantidad (u)		PUC	IMPORTE TOTAL
					u/m²	(%)					
03RZQ00001			m	Recalce de zapata corrida con micropilote "in situ", c/camisa acero ø 60 mm y profundidad 27,00 m	1,19	1,00	3.504	4.184,48		62,29	260.631,9
03RZC00001			m²	Apertura de caja en acerado	QU PB	QM	Fr	Q _{PUS} (U)	Q _{PUC} (U)	PB	PUS IMPORTE _{PUS}
						42,0	0,0002	0,007			59,4 0,40
MANO DE OBRA											
			h	PEÓN ESPECIAL	3,10	...	...	0,021	87,73	18,28	56,6 0,38
MAQUINARIA											
			h	CARRETILLA MECÁNICA BASCULANTE	0,74	...	...	0,005	20,94	3,65	2,7 0,02
03RZR00001			u	Perforación de zapata desde el exterior	QU PB	QM	Fr	Q _{PUS} (U)	Q _{PUC} (U)	PB	PUS IMPORTE _{PUS}
						42,0	0,0002	0,007			84,3 0,57
MANO DE OBRA											
			h	OFICIAL 2ª	1,00	...	...	0,007	28,30	18,74	18,7 0,13
			h	PEÓN ESPECIAL	1,50	...	...	0,010	42,45	18,28	27,4 0,19
MAQUINARIA											
			h	EQUIPO PRFORACIÓN C/CORONA DIAMANTE	1,00	...	...	0,007	28,30	38,14	38,1 0,26
03RZR00002			u	Perforación de zapata desde el interior	QU PB	QM	Fr	Q _{PUS} (U)	Q _{PUC} (U)	PB	PUS IMPORTE _{PUS}
						188	0,0002	0,030			75,5 2,29
MANO DE OBRA											
			h	OFICIAL 2ª	1,00	...	...	0,030	126,7	18,74	18,7 0,57
			h	PEÓN ESPECIAL	1,50	...	...	0,045	190,0	18,28	27,4 0,83
MAQUINARIA											
			h	EQUIPO PRFORACIÓN C/CORONA DIAMANTE	1,00	...	...	0,030	126,7	29,36	29,4 0,89
03RZK00001			m	Micropilote "in situ" exterior terrenos consistencia baja c/camisa acero D.60 mm.	QU PB	QM	Fr	Q _{PUS} (U)	Q _{PUC} (U)	PB	PUS IMPORTE _{PUS}
						1,13	0,0002	0,183			53,5 9,77
MATERIALES											
			t	CEMENTO CEM II/A-L 42, 5R A GRANEL	0,08	...	...	0,014	57,3	92,54	6,9 1,27
			m	CAMISA ACERO S 375 JR DIAM. 60 mm.	1,00	...	...	0,183	764,1	26,46	26,4 4,83
MANO DE OBRA											
			h	OFICIAL 1ª	0,18	...	...	0,033	139,8	19,23	3,5 0,64
			h	PEÓN ESPECIAL	0,59	...	...	0,108	450,8	18,28	10,7 1,97
MAQUINARIA											
			h	EQUIPO PERFORACIÓN MICROPILOTES	0,18	...	...	0,033	139,8	29,36	5,3 0,98
			u	REPERCUSIÓN S/UTIL, TRANS. MONT. MÁQ	0,04	...	...	0,007	28,3	6,45	0,2 0,04
			h	COMPRESOR DOS MARTILLOS	0,03	...	...	0,005	22,9	6,35	0,2 0,03
03RZK00002			m	Micropilote "in situ" interior terrenos consistencia baja c/camisa acero D.60 mm.	QU PB	QM	Fr	Q _{PUS} (U)	Q _{PUC} (U)	PB	PUS IMPORTE _{PUS}
						5,07	0,0002	0,817			60,3 49,26
MATERIALES											
			t	CEMENTO CEM II/A-L 42, 5R A GRANEL	0,08	...	...	0,061	256,5	92,54	6,9 5,67
			m	CAMISA ACERO S 375 JR DIAM. 60 mm.	1,00	...	...	0,817	3.420	26,46	26,4 21,63
MANO DE OBRA											
			h	OFICIAL 1ª	0,32	...	...	0,263	1.101	19,23	6,2 5,06
			h	PEÓN ESPECIAL	0,59	...	...	0,482	2.018	18,28	10,8 8,82
MAQUINARIA											
			h	EQUIPO PERFORACIÓN MICROPILOTES	0,32	...	...	0,263	1.101	29,36	9,4 7,73
			u	REPERCUSIÓN S/UTIL, TRANS. MONT. MÁQ	0,04	...	...	0,030	126,5	6,45	0,2 0,20
			h	COMPRESOR DOS MARTILLOS	0,03	...	...	0,025	102,6	6,35	0,2 0,16

Tabla 6.2. Descomposición en cantidades de recursos básicos del PUC de recalce de zapata realizado en el edificio de viviendas RENFE

6.2. Análisis de sensibilidad del modelo

Como cierre de la fase de validación del modelo se realiza un análisis de sensibilidad, mediante la aplicación del motor de cálculo contenido en el modelo de evaluación desarrollado a una muestra de edificios dentro de la tipología edificatoria identificada como la más representativa. Concretamente, dado que dicho análisis va encaminado a corroborar la sensibilidad del modelo frente a cambios tanto en las soluciones constructivas, materiales empleados, como a la gravedad o niveles patológicos presentes en los distintos elementos del edificio, se analizan cinco casos en los que se combinan las diferentes actuaciones contenidas en el modelo, realizando variaciones tanto en los sistemas, como en los materiales empleados y su estado patológico mediante variación del grado de actuación a realizar.

Es importante puntualizar que estas combinaciones de casos de validación se han realizado considerando el ámbito de aplicación del modelo de evaluación de viabilidad desarrollado, cuyo uso se plantea para la etapa final del ciclo de vida del edificio, en el momento en el que se barajan como alternativas su recuperación o demolición y nueva construcción. Por ello, los estados patológicos de los casos analizados son lo suficientemente graves como para plantearse la aplicación del modelo. Para mayor definición se describen los estados patológicos de las cinco combinaciones propuestas:

- CASO 1: recuperación integral. El grado de afectación patológica es máximo en todos los elementos constructivos del edificio, encontrándose estos entre el 60% y 100% de daño porcentual. Dado el carácter integral de la actuación en este supuesto, las intervenciones incluyen la mejora energética de envolvente y sistemas del edificio, así como de las condiciones de accesibilidad de las zonas comunes del edificio.
- CASO 2: estado patológico muy grave. El daño en cimentación y elementos estructurales presenta un grado de afectación patológica elevado (de 61% a 100%). Del mismo modo los elementos de envolvente y sistemas también muestran una afectación patológica acusada con unos valores entre de 61% a 100% y de 31% a 60%, lo que ocasiona que se considere conveniente realizar mejora energética sobre los mismos, así como mejora en algunos de los elementos de las zonas comunes (escalera, rampa acceso y ascensor) para aumentar las condiciones de accesibilidad.
- CASO3: estado patológico grave. Presenta una afectación patológica acusada de los elementos estructurales, con unos valores entre de 61% a 100% y de 31% a 61% y puntualmente reparaciones de menor gravedad (1% a 30%). Sus elementos de envolvente y sistemas muestran un estado de gravedad intermedio (de 31% a 60%), aunque puntualmente presentan elementos con mayor afectación (61% a 100%). Se considera que la intervención sobre los elementos de envolvente es suficiente para plantear la mejora energética del edificio. En este caso también se realiza mejora de accesibilidad sobre las zonas comunes (rectificación de peldañado, rampa acceso y escalera).

- CASO 4: estado patológico gravedad media. Se reduce la afectación patológica de los elementos estructurales, que aunque con presencia de daño muestra afectación media (31% a 60%). Del mismo modo el resto de elementos en general manifiestan afectación patológica media, aunque puntualmente existe un daño mayor pero en elementos que pueden considerarse secundarios (tabiquería, encuentros de cubierta...).
- CASO 5: estado patológico gravedad media-baja. La afectación estructural es menor que el caso anterior, mostrando unos grados de intervención porcentual entre 31% a 60% y de 1% a 30%. En cambio, se acentúa el nivel de intervención en las instalaciones del edificio (61% a 100%), planteándose la actualización de todas las instalaciones, incluso portero electrónico y ascensor, ya sea por encontrarse estas desfasadas o por no existir originariamente en el edificio.

Tal como se especifica en la figura 6.10. Esquema de aplicación del modelo, el primer paso para dicha aplicación es definir las actuaciones a realizar sobre el edificio y su estado patológico, por lo que a continuación se describe brevemente las tipologías edificatorias sobre las que se realiza el análisis de sensibilidad, así como la variación de las actuaciones y grado de intervención. Para agilizar la presentación de cada caso, tanto la breve descripción de las particularidades constructivas que definen el caso analizado como las actuaciones realizadas y el estado patológico definido a través de los grados de actuación, se representan en una tabla resumen que recoge toda la información necesaria para la aplicación del motor cálculo desarrollado en el modelo de evaluación.

Los resultados del análisis de sensibilidad se exponen en la siguiente etapa de la presente tesis, donde se discuten los resultados de validación del modelo.

Tipología edificatoria

La tipología edificatoria coincide con la empleada como referencia en la elaboración de los precios contenidos en el modelo, por ser la tipología identificada como la más representativa en la ciudad de Sevilla en la primera fase de la presente tesis (Alba-Rodríguez et al. 2013): Edificio residencial de tres y cuatro plantas de altura sobre rasante, sin sótano, las variaciones en cuanto a soluciones constructivas y materiales se puntualizan en cada caso analizado. Dado que los resultados del análisis se exponen mediante comparativa de los datos económicos y ambientales obtenidos en los diferentes supuestos, se considera de interés que cada caso se realice sobre la misma combinación tipológica y patológica para tres y cuatro plantas de altura, de este modo también se consigue determinar la sensibilidad del modelo en función de la variación del número de plantas.

CASO 1 (recuperación integral)

Características constructivas	PB+03	PB+02
Cubierta horizontal		
Sin sótano	Sup. construida 4.440,5 m ²	Sup. Construida 3.330,34 m ²
Viviendas en PB		
Cimentación por zapata		
Estructura de muro de carga		

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
03. Cimentación		
Reparación de zapata	Recalce de zapata por micropilotaje	61 a 100
04. Saneamiento		
Arquetas	Sustitución y reposición	61 a 100
Colectores	Sustitución y reposición en polietileno	61 a 100
Bajantes	Sustitución y reposición en polipropileno	61 a 100
05. Estructuras		
Forjado	Reparación de capa de compresión	61 a 100
06. Albañilería		
Cerramiento de ladrillo	Grietas. Sup. dañada >60%. Mejora energética con EPS. Rev. continuo.	61 a 100
	Barrera anticapilaridad, sistema electro osmosis-fóresis	61 a 100
	Humedades encuentro forjado-cerramiento. Tratamiento con resinas	61 a 100
Distribución de tabiquería	Grietas. Sup. dañada >60%. Sustitución completa	61 a 100
Fábrica interior de ladrillo (muros de carga)	Grietas. Sup. dañada >60%. Sustitución completa	61 a 100
	Barrera anticapilaridad, sistema electro osmosis-fóresis	61 a 100
07. Cubiertas		
Horizontales	Sustitución completa. Mejora energética con aislam. EPS	61 a 100
08. Instalaciones		
Climatización	Aparatos climatización	Nueva instalación
	Radiadores	
Electricidad	Circuitos	61 a 100
	Líneas de derivación	Sustitución / reposición
	Puntos de luz	
	Tomas de corriente	
	Conductor puesta a	Nueva instalación
Fontanería	Canalización agua	Sustitución / reposición en polietileno
	Desagües	Sustitución / reposición
	Canalización agua fría	
	Aparatos sanitarios	Sustitución / reposición en polietileno
	Termos. Nueva instalación de ACS y calefacción con energía solar	100
11. Carpinterías		
Carpintería ligera	Sustitución de ventana aluminio con RPT y vidrio bajo emisivo	61 a 100
Rejas	Desmontado y reutilización	61 a 100
Accesibilidad		
Escalera	Sustitución	100
Rampa	Nueva instalación	100
Portero	Sustitución y reposición	100
Ascensor	Nueva instalación	100

Tabla 6.3. CASO 1: (recuperación integral) características técnicas, descripción de actuaciones realizadas y estado patológico (grado de actuación %).

CASO 2 (estado patológico muy grave)

Características constructivas	PB+03	PB+02
Cubierta inclinada		
Sin sótano		
Viviendas en PB	Sup. Construida 4.440,5 m ²	Sup. construida 3.330,34 m ²
Cimentación por zapata		
Estructura de muro de carga		

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)	
03. Cimentación			
Reparación de zapata	Recalce de zapata por micropilotaje	61 a 100	
04. Saneamiento			
Arquetas	Reparación de impermeabilización	61 a 100	
Colectores	Sustitución y reposición en hormigón	61 a 100	
Bajantes	Sustitución y reposición en fibrocemento NT	31 a 60	
05. Estructuras			
Forjado	Reparación de capa de compresión	61 a 100	
06. Albañilería			
Cerramiento de ladrillo	Grietas. Sup. dañada >60%. Mejora energética con EPS. Fach. ventilada	61 a 100	
	Barrera anticapilaridad, sistema electro osmosis-fóresis	1 a 30	
	Humedades encuentro forjado-cerramiento. Tratamiento con resinas	61 a 100	
Distribución de tabiquería (particiones)	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	1 a 30	
	Grietas. Sup. dañada <60%.	1a60	
Fábrica interior de ladrillo (muros de carga)	Grietas. Sup. dañada >60%. Sustitución completa	61 a 100	
	Barrera anticapilaridad, sistema electro osmosis-fóresis	1 a 30	
07. Cubiertas			
Inclinada	Sustitución completa. Mejora energética con aislam. Lana oveja	61 a 100	
08. Instalaciones			
Climatización	Aparatos climatización	Nueva instalación	100
Electricidad	Circuitos	Sustitución / reposición	61 a 100
	Líneas de derivación		61 a 100
	Puntos de luz		61 a 100
	Tomas de corriente		61 a 100
	Conductor puesta a tierra	Nueva instalación	100
Fontanería	Canalización agua caliente	Sustitución / reposición en	31 a 60
	Desagües	Sustitución / reposición	31 a 60
	Canalización agua fría		31 a 60
	Aparatos sanitarios	Sustitución / reposición en	31 a 60
	Termos. Sustitución y reposición de ACS con energía solar térmica		100
11. Carpinterías			
Carpintería ligera	Sustitución de ventana aluminio con RPT y vidrio bajo emisivo	61 a 100	
Rejas	Sustitución y reposición	1 a 30	
Accesibilidad			
Escalera	Sustitución	100	
Rampa	Nueva instalación	100	
Ascensor	Nueva instalación	100	

Tabla 6.4. **CASO 2:** (estado patológico muy grave) características técnicas, descripción de actuaciones realizadas y estado patológico (grado de actuación %).

CASO 3 (estado patológico grave)

Características constructivas	PB+03	PB+02
Cubierta horizontal		
Sin sótano		
Viviendas en PB	Sup. construida 4.440,5 m ²	Sup. construida 3.330,34 m ²
Cimentación por zapata		
Estructura de muro de carga		

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)	
03. Cimentación			
Reparación de zapata	Recalce de zapata por micropilotaje	61 a 100	
04. Saneamiento			
Arquetas	Sustitución y reposición	61 a 100	
Colectores	Sustitución y reposición en fibrocemento NT	31 a 60	
Bajantes	Sustitución y reposición en fibrocemento NT	1 a 30	
05. Estructuras			
Forjado	Reparación de capa de compresión	31 a 60	
06. Albañilería			
Cerramiento de ladrillo	Grietas. Sup. dañada >60%. Mejora energética con lana oveja. Fach. vent.	61 a 100	
	Barrera anticapilaridad, sistema electro osmosis-fóresis	31 a 60	
	Humedades encuentro forjado-cerramiento. Tratamiento con resinas epoxi	31 a 60	
Distribución de tabiquería (particiones)	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	1 a 30	
	Grietas. Sup. dañada <60%.	1a60	
Fábrica interior de ladrillo (muros de carga)	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	1 a 30	
	Grietas. Sup. dañada < 60%. Sup. dañada >60%. Sustitución	1a60	
	Barrera anticapilaridad, sistema electro osmosis-fóresis	1 a 30	
07. Cubiertas			
Horizontales	Reparación faldón	31 a 60	
	Reparación encuentros con paramento	61 a 100	
	Reparación encuentros con cazoleta	61 a 100	
08. Instalaciones			
Climatización	Aparatos climatización	Nueva instalación	100
	Radiadores		100
Electricidad	Circuitos		31 a 60
	Líneas de derivación	Sustitución / reposición	31 a 60
	Puntos de luz		31 a 60
	Tomas de corriente		31 a 60
	Conductor puesta a tierra	Nueva instalación	100
Fontanería	Canalización agua caliente	Sustitución / reposición en cobre	31 a 60
	Desagües	Sustitución / reposición	31 a 60
	Canalización agua fría		31 a 60
	Aparatos sanitarios	Sustitución / reposición en cobre	1 a 30
	Termos. Nueva instalación de ACS y calefacción con energía solar térmica		100
11. Carpinterías			
Carpintería ligera	Sustitución y reposición de ventana aluminio con RPT y vidrio control solar	61 a 100	
Rejas	Desmontado y reutilización	31 a 60	
Accesibilidad			
Escalera	Rectificación peldañado	100	
Rampa	Nueva instalación	100	
Portero	Sustitución y reposición	100	

Tabla 6.4. CASO 3: (estado patológico grave) características técnicas, descripción de actuaciones realizadas y estado patológico (grado de actuación %).

CASO 4 (estado patológico gravedad media)

Características constructivas	PB+03	PB+02
Cubierta Inclinada		
Sin sótano	Sup. construida 4.440,5 m ²	Sup. construida 3.330,34 m ²
Viviendas en PB		
Cimentación por zapata		
Estructura de muro de carga		

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)
03. Cimentación		
Reparación de zapata	Recalce de zapata por micropilotaje	31 a 60
04. Saneamiento		
Arquetas	Reparación de impermeabilización	31 a 60
Colectores	Sustitución y reposición en polietileno	31 a 60
Bajantes	Sustitución y reposición en polipropileno	31 a 60
05. Estructuras		
Forjado	Reparación de capa de compresión	1 a 30
06. Albañilería		
Cerramiento de ladrillo	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	1 a 30
	Grietas. Sup. dañada <60%.	1a60
	Barrera anticapilaridad, sistema electroosmosis-fóresis	31 a 60
	Humedades encuentro forjado-cerramiento. Tratamiento con	31 a 60
Distribución de tabiquería (particiones)	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	61 a 100
	Grietas. Sup. dañada <60%.	1a60
Fábrica interior de ladrillo (muros de carga)	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	1 a 30
	Grietas. Sup. dañada < 60%	1a60
	Barrera anticapilaridad, sistema electroosmosis-fóresis	31 a 60
07. Cubiertas		
Inclinada	Reparación faldón	31 a 60
	Reparación encuentros con paramento	61 a 100
	Reparación remates	61 a 100
08. Instalaciones		
Climatización	Aparatos climatización Nueva instalación	100
Electricidad	Circuitos	31 a 60
	Líneas de derivación	Sustitución / reposición 31 a 60
	Puntos de luz	1 a 30
	Tomas de corriente	1 a 30
Fontanería	Canalización agua caliente	Sustitución / reposición en cobre 1 a 30
	Desagües	1 a 30
	Canalización agua fría	Sustitución / reposición 1 a 30
	Aparatos sanitarios	Sustitución / reposición en cobre 1 a 30
11. Carpinterías		
Carpintería ligera	Sust. y reposición de ventana aluminio con RPT y doble	31 a 60
Rejas	Sustitución y reposición	31 a 60
Accesibilidad		
Escalera	Rectificación peldañado	100
Ascensor	Nueva instalación	100

Tabla 6.5. CASO 4: (estado patológico gravedad media) características técnicas, descripción de actuaciones realizadas y estado patológico (grado de actuación %).

CASO 5 (estado patológico gravedad media-baja)

Características constructivas	PB+03	PB+02
Cubierta horizontal		
Sin sótano		
Viviendas en PB	Sup. construida 4.440,5 m ²	Sup. construida 3.330,34 m ²
Cimentación por zapata		
Estructura de muro de carga		

Apartados	Actuaciones	Grado de actuación (%)	
03. Cimentación			
Reparación de zapata	Recalce de zapata por micropilotaje	1 a 30	
04. Saneamiento			
Arquetas	Arqueta nueva	31 a 60	
Colectores	Sustitución y reposición en fibrocemento NT	31 a 60	
Bajantes	Sustitución y reposición en fibrocemento NT	1 a 30	
05. Estructuras			
Forjado	Reparación de capa de compresión	31 a 60	
06. Albañilería			
Cerramiento de ladrillo	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	61 a 100	
	Barrera anticapilaridad, sistema electroosmosis-fóresis	31 a 60	
	Humedades encuentro forjado-cerramiento. Tratamiento con resinas	1 a 30	
Distribución de tabiquería	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	61 a 100	
Fábrica interior de ladrillo (muros de carga)	Fisuras. Reparación con malla de fibra de vidrio	61 a 100	
	Barrera anticapilaridad, sistema electroosmosis-fóresis	31 a 60	
07. Cubiertas			
Horizontales	Reparación faldón	31 a 60	
	Reparación encuentros con paramento	31 a 60	
	Reparación encuentros con cazoleta	1 a 30	
08. Instalaciones			
Electricidad	Circuitos	61 a 100	
	Líneas de derivación	Sustitución / reposición	
	Puntos de luz		
	Tomas de corriente	61 a 100	
Fontanería	Conductor puesta a tierra	Nueva instalación	100
	Canalización agua caliente	Sustitución / reposición en	
	Desagües		
	Canalización agua fría	61 a 100	
Aparatos sanitarios	Sustitución / reposición en	61 a 100	
11. Carpinterías			
Carpintería ligera	Sustitución de ventana aluminio con RPT y vidrio bajo emisivo	31 a 60	
Rejas	Desmontado y reutilización	1 a 30	
Accesibilidad			
Portero	Sustitución y reposición	100	
Ascensor	Nueva instalación	100	

Tabla 6.6. CASO 5: (estado patológico gravedad media-baja) características técnicas, descripción de actuaciones realizadas y estado patológico (grado de actuación %).

Etapa 3: Resultados de validación y conclusiones

Resultados de validación

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta etapa de la tesis se realiza una recapitulación de los resultados obtenidos de la aplicación del modelo de evaluación de viabilidad sobre los estudios de caso de validación seleccionados y ya definidos en la última fase de la etapa anterior. En primer lugar se muestran y discuten los resultados obtenidos de la aplicación sobre el estudio de caso referido a la Barriada “RENFE”. El exhaustivo conocimiento que se tiene de este estudio de caso da pie a que se ahonde en la discusión los resultados obtenidos de su aplicación, de manera que pueda verse detalladamente la sensibilidad del modelo en los niveles más profundos de las actuaciones de recuperación, desarrollando tanto los resultados económicos como ambientales a nivel de capítulo de obra.

En cambio, dado que la aplicación sobre la muestra de edificios seleccionada pretende analizar la sensibilidad del modelo frente a variaciones tanto en las soluciones constructivas y materiales como en los niveles patológicos de los mismos, los resultados se exponen mediante comparativa de los datos económicos y ambientales obtenidos en los diferentes supuestos.

7. Estudio de caso: Barriada “RENFE”

El modelo de evaluación se ha desarrollado con la finalidad de realizar un análisis integral de los costes, por lo que los resultados obtenidos de la aplicación del modelo sobre el estudio de caso referido a la barriada RENFE se muestran divididos en impactos económicos y ambientales de la recuperación. Concluyendo con la comparativa que da respuesta al objetivo buscado con el presente modelo, relacionando los resultados referidos a la recuperación del edificio con la alternativa de demolerlo y construirlo de nuevo.

7.1. Impacto económico de la recuperación

El importe económico de las actuaciones llevadas a cabo sobre el edificio de viviendas para subsanar las patologías que afectan a su integridad, se desprenden de los PUC desarrollados en la tabla 6.1. La descomposición de estos precios puede consultarse en el ANEXO II, donde se especifican detalladamente tanto la descripción que delimita las fronteras del precio como las unidades de medidas y criterios de medición con el que se realiza el mismo.

En la tabla 7.1 se muestra un resumen del presupuesto de ejecución de la recuperación del edificio por capítulos, donde se aprecia que el peso económico de las actuaciones se centra en los capítulo de instalaciones, el cual representa el 33,17% de PEM de la recuperación, seguido de la albañilería con un 26,04%, la implantación de las nuevas carpintería exteriores con el 13,52% y la cimentación por recalce con un 12,74% del total. Esto se debe a que las actuaciones de recuperación van acompañadas de la mejora energética tanto de la envolvente del edificio como de las instalaciones, a excepción de la cimentación, cuya importancia en el presupuesto está justificada por la envergadura del recalce debido a la elevada profundidad a la que se encontraba el estrato resistente

del terreno. Es conveniente aclarar que en el caso de intervención real sobre el edificio RENFE no pudieron realizarse mejoras energéticas debido a que la aseguradora obligaba a que las actuaciones llevadas a cabo sobre el edificio se limitasen a devolver los elementos constructivos a su estado original, sin ejecutar ningún tipo de mejora sobre el mismo.

CAPÍTULOS	PEM (€)	%
03. Cimentaciones	186.131,06	12,74%
04. Saneamiento	63.223,62	4,33%
05. Estructuras	28.002,13	1,92%
06. Albañilería	380.542,43	26,04%
07. Cubiertas	87.610,05	6,00%
08. Instalaciones	484.636,53	33,17%
11. Carpintería y elementos de seguridad	197.518,86	13,52%
17. Gestión de residuos	33.572,56	2,30%
TOTAL PEM REHABILITACIÓN	1.461.237,24	100,00%

Tabla 7.1. Resumen por capítulos de PEM de recuperación. Viv. RENFE

Con el fin de profundizar en el aspecto económico de los resultados obtenidos, se amplía el resumen por capítulos anterior indicando el importe total que suponen en el presupuesto las diversas actuaciones ejecutadas sobre el edificio (Tabla 7.2). Con ello podremos tener una idea de la envergadura económica que suponen las actuaciones y en apartados posteriores referidos al impacto ambiental se comparará este peso económico con el impacto ambiental resultante de cada actuación.

Como ya se ha señalado, el peso económico de las actuaciones está en aquellos capítulos en los que además de subsanar las patologías existentes sobre los elementos constructivos, estas se completan realizando la mejora energética de dichos elementos. Se trata por tanto, como puede observarse en la tabla 7.2, de los elementos constructivos de envolvente y mejora de sistemas, concretamente la actuación con mayor importancia económica en el presupuesto recae sobre la actuación realizada en el cerramiento exterior del edificio, la cual corresponde al 18,90% del presupuesto total. Esta importancia se debe a varios factores, en primer lugar a la doble funcionalidad que cumple el cerramiento exterior en el edificio, ya que además de hacer las bases de envolvente exterior también es muro de carga estructural del mismo, por lo que la reparación de las grietas existentes en el muro adquiere gran peso en el presupuesto, pues debe asegurarse la recuperación de la homogeneidad de la fábrica. Y en segundo lugar a la mejora energética llevada a cabo, la cual se ha realizado por el exterior incorporando aislamiento térmico de poliestireno expandido con un espesor de 80mm, asegurando así la mejora de la calificación energética del cerramiento, el cual carecía originariamente de elemento aislante.

La segunda actuación con mayor peso económico en el presupuesto se encuentra englobada en el capítulo de instalaciones, el cual como ya se ha puntualizado es el de mayor importancia en el presupuesto, esto se debe a que las actuaciones han consistido en la sustitución de un elevado porcentaje de todos los elementos de las instalaciones tanto de electricidad como de fontanería, por encontrarse dañados tras el incidente. Sin embargo, la actuación que verdaderamente define la importancia económica de este

capítulo del presupuesto también está relacionada con la mejora energética realizada sobre el edificio, concretamente con la mejora de sistemas. Originariamente el edificio no contaba con instalación de climatización, por lo que se lleva a cabo la nueva implantación del sistema consistente en un sistema inverter con bomba de calor. Esta implantación completa de la instalación de climatización en el edificio supone el 16,62% del presupuesto, dotando al edificio de un sistema que permite adaptar el rendimiento y optimizar el consumo a las necesidades requeridas. En este mismo capítulo destaca también la sustitución del sistema de ACS existente por un nuevo sistema comunitario dotado de placas de energía solar térmica, contribuyendo con ello a la mejora de sistemas en el edificio.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN PRECIOS UNITARIOS COMPLEJOS DE RECUPERACIÓN	PEM (€)	
TOTAL PEM REHABILITACIÓN		1.461.237,24	100%
03. CIMENTACIONES		186.131,06	12,74%
03RZ00001	Recalce de zapata corrida con micropilote "in situ", profundidad 27,00	186.131,06	12,74%
04. SANEAMIENTO		63.223,62	4,33%
04RAS50010	Sustitución de arqueta saneamiento	24.130,66	1,65%
04RES50010	Sustitución de colector enterrado con tubo polietileno	37.614,56	2,57%
04RVS90010	Sustitución de bajante de polipropileno insonorizado	1.478,40	0,10%
05. ESTRUCTURAS		28.002,13	1,92%
05RFU80001	Refuerzo de capa de compresión en forjado unidireccional	28.002,13	1,92%
06. ALBAÑILERÍA		380.542,43	26,04%
06RLR05013	Reparación de grietas en cerramiento y rehabilitación energética	276.222,40	18,90%
06RLR70022	Reparación de fisuras en tabiques de fábrica de ladrillo	21.830,78	1,49%
06RLS80010	Sustitución de tabiques de fábrica de ladrillo	64.873,87	4,44%
06RLR70011	Reparación de muro de carga interior	17.615,38	1,21%
07. CUBIERTAS		87.610,05	6,00%
07RHR00152	Rehabilitación energética de azotea transitable	87.610,05	6,00%
08. INSTALACIONES		484.636,55	33,17%
08RCS10100	Nueva instalación de climatización frío/calor	242.851,40	16,62%
08RES20010	Sustitución de circuito monofásico	35.180,01	2,41%
08RES20020	Sustitución de derivación individual de suministro eléctrico	10.019,21	0,69%
08RES20030	Sustitución de puntos de luz empotrado	9.332,99	0,64%
08RES20040	Sustitución de toma de corriente empotrada	22.768,11	1,56%
08RES20050	Nueva instalación de puesta a tierra	8.994,20	0,62%
08RFS30010	Sustitución de conducción de polietileno con coquilla aislante para ACS	9.180,10	0,63%
08RFS30030	Sustitución red de saneamiento interior	42.239,85	2,89%
08RFS30040	Sustitución de conducción de polietileno para suministro de agua fría	16.288,46	1,11%
08RFS30070	Sustitución de aparato sanitario y grifería	11.296,95	0,77%
08RFS30090	Sustitución de sistema ACS con placas energía solar térmica	76.485,25	5,23%
11. CARPINTERÍA, ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y PROTECCIÓN		197.518,86	13,52%
11RVS12022	Ventana abatible aluminio lacado con RPT, vidrio bajo emisivo	187.247,50	12,81%
11RBL10010	Recuperación de rejas metálicas en huecos de fachada de planta baja	10.271,36	0,70%
17. GESTIÓN DE RESIDUOS		33.572,56	2,30%
17RRR90220	Retirada de residuos a planta de valorización	33.572,33	2,30%

Tabla 7.2. PEM de actuaciones de recuperación por capítulos. Viv. RENFE

Continuando con el análisis de los resultados reflejados en la tabla 7.2, puede observarse como siguiente capítulo con relevancia en el presupuesto el destinado a las carpinterías, concretamente la actuación destinada a la sustitución de las carpinterías exteriores por ventanas de aluminio con rotura de puente térmico y vidrio bajo emisivo, actuación que representa el 12,81% de PEM. Se toma la determinación de sustituir todas las ventanas

exteriores con el objeto de realizar la mejora completa de aquellos elementos que influyen en el comportamiento energético del edificio, siendo las carpinterías el punto más débil de la envolvente en ese sentido y por lo tanto se considera de vital importancia para lograr el objetivo de mejora propuesto.

Cabe resaltar la actuación realizada sobre la cubierta, que aunque representa un menor porcentaje del PEM total (6,00%) en comparación con las anteriores, sigue siendo muy significativa. Esta ha consistido en la rehabilitación completa de la cubierta, por lo que con ella se consigue completar las actuaciones de mejora energética de la envolvente del edificio asegurando así la mejora de la calificación energética en tres letras, como podrá corroborarse en los resultados de la simulación energética realizada sobre el edificio y que se muestran en el apartado 7.6. Comparativa de mejora energética: Edificio recuperado vs nuevo edificio.

Para cerrar el resumen de los resultados económicos que se muestra en este apartado, no puede obviarse el capítulo de estructuras, por la relevancia que este tiene en el conjunto edificatorio, pero por el contrario que el resto de actuaciones reseñadas resalta justamente por encontrarse muy por debajo de la importancia que el resto de actuaciones representan en el presupuesto, concretamente supone tan sólo el 1,92% del PEM. Esto se debe a que la estructura horizontal, única tipología englobada en este capítulo por ser la estructura del edificio de muros de cara de fábrica de ladrillo y estar recogidos en el capítulo de albañilería, no sufrió daños significativos, reparándose tan sólo las grietas puntuales que sufrió la capa de compresión del forjado.

7.2. Impacto ambiental de la recuperación

Se desarrollan en este apartado los resultados obtenidos de la aplicación del indicador HE sobre el edificio de viviendas "RENFE". Con el fin de desglosar de la manera más clara posible el volumen de resultados obtenidos de dicha aplicación, se decide exponer estos de manera parcial, mostrando en primer lugar el impacto ambiental que se desprende de manera directa de los recursos básicos contenidos en los precios complejos: maquinaria, mano de obra y materiales así como los RCD producidos durante la ejecución de las actuaciones y se continúa con los resultados que se obtienen de manera indirecta de los datos generales del proyecto como son el agua y la superficie consumida, para concluir con una tabla de resultados totales donde se compilan los resultados de HE parciales.

MAQUINARIA

De las horas de uso de maquinaria cuantificadas en el BCRR se desprenden dos tipos de consumos sobre los que se aplica el indicador HE, los derivados de las máquinas alimentadas por combustible y las máquinas eléctricas. A continuación se relacionan las maquinarias empleadas en las actuaciones llevadas a cabo para la recuperación del edificio (Tabla 7.3), donde se muestra la cantidad de horas totales de cada maquinaria, el coste económico y los consumos expresados en litros (l) de combustible y en kWh para las máquinas eléctricas. Sobre estas cantidades se aplican las expresiones (2) y (4) contempladas en el apartado 5.2.1. Indicador HE aplicado a recuperación de edificios,

transformando respectivamente los litros de combustible y los kWh en HE fósil, en la tabla se refleja tanto la HE por hectáreas (ha) como las hectáreas globales (hag) derivadas de dichos consumos.

Código	Maquinaria	Cantidad (h)	Coste (€)	Consumos (l)	HE consumos (ha)	HE fósil (hag)
COMBUSTIBLE				(l)		
ME00300	Pala cargadora	54,15	1.292,59	1.299,63	0,678	0,85
ME00400	Retroexcavadora	1,04	36,28	13,90	0,007	0,01
MK00100	Camión basculante	25,27	646,99	1.263,66	0,659	0,83
MK00300	Carretilla mecánica basculante	15,16	55,33	272,85	0,142	0,18
MP80020	Equipo perforación micropilotes	886,39	248.190,55	10.104,90	5,269	6,64
MP80001	Eq. perforación c/corona diamante	20,21	770,85	230,41	0,120	0,15
MP80002	Eq. perforación c/martillo de fondo	90,47	2.656,15	1.031,34	0,538	0,68
MW00300	Plataforma elevadora telescópica	729,55	5.471,65	11.672,85	6,087	7,67
TOTALES		1.822,24	259.120,40	25889,54	13,500	17,01
ELÉCTRICA				(kWh)		
MC00100	Compresor dos martillos	609,16	3.868,13	12.183,10	0,61	0,76
MV00100	Vibrador	25,31	38,22	12,65	0,001	0,001
C12232	Hormigoneras	840,30	3.600,11	1.235,25	0,06	0,08
TOTALES		1.474,77	7.506,46	13.431,00	0,67	0,84
TOTAL HE					14,17	17,85

Tabla 7.3. Consumos energéticos de la maquinaria combustible (l) y eléctrica (kWh). Resultados de HE fósil expresados en ha y hag. Actuaciones de recuperación viv. RENFE.

Observando los resultados obtenidos cabe destacar la mayor representatividad de la maquinaria combustible frente a la maquinaria eléctrica, y más concretamente dentro de este grupo, sobresale con la plataforma elevadora telescópica, la cual representa el 42,98% (7,67 hag) de la HE fósil total originada por toda la maquinaria, a pesar de no ser esta la maquinaria con mayor cantidad de horas de utilización, ya que es el equipo de perforación de micropilotes el que cuanta con mayor acumulación generando el 37,21% (6,64 hag) de la HE producida por la maquinaria empleada en obra, debido a la envergadura del recalce realizado sobre el edificio.

MANO DE OBRA

El impacto ambiental producido por la mano de obra procede de los alimentos de manutención de los trabajadores y de los RSU que estos generan durante el proceso de ejecución en la obra. Antes de comenzar con los impactos ambientales de la mano de obra conviene recordar que a diferencia de la maquinaria, donde sólo se produce HE fósil procedente de la energía necesaria para su funcionamiento, la mano de obra genera diferentes HE parciales derivadas de los distintos territorios productivos necesarios para obtener los alimentos, y la producida por la manipulación y transformación de los mismos, por lo que los resultados del impacto ambiental de la mano de obra se desglosa en cuatro HE parciales, tres derivadas de los territorios productivos: pastos, cultivo y mar, y HE fósil, derivada de la energía necesaria para la transformación de los alimentos.

En la tabla 7.4 se muestran las horas totales de trabajadores cuantificados a través del BCRR, desglosadas en horas de trabajador procedentes de las diferentes unidades de obra del presupuesto de recuperación, horas de mano de obra auxiliar procedentes de

las horas de trabajador que provienen de los costes indirectos del presupuesto y las horas de los operarios encargados del manejo de las maquinarias.

Código	Ud	Mano de obra (Costes directos)	Cantidad (h)
TA00100	h	Ayudante	161,42
TA00200	h	Ayudante especialista	460,90
TO00100	h	Of. 1ª albañilería	856,64
TO00200	h	Of. 1ª alicatador	798,20
TO00300	h	Of. 1ª colocador	9,99
TO00500	h	Of. 1ª escayolista	207,90
TO00600	h	Of. 1ª ferrallista	17,63
TO00700	h	Of. 1ª impermeabilizador	150,54
TO00900	h	Of. 1ª montador	23,56
TO01000	h	Of. 1ª pintor	70,10
TO01005	h	Of. 2ª pintor	1.271,44
TO01100	h	Of. 1ª solador	864,66
TO01200	h	Of. 1ª yesero	3.824,67
TO01400	h	Of. 1ª calefactor o mecánico	840,96
TO01500	h	Of. 1ª carpintería	696,93
TO01600	h	Of. 1ª cerrajero-chapista	69,18
TO01700	h	Of. 1ª cristalero	206,40
TO01800	h	Of. 1ª electricista	1.032,90
TO01900	h	Of. 1ª fontanero	614,01
TO02000	h	Of. 1ª instalador	199,73
TO02100	h	OFICIAL 1ª	7.449,31
TO02200	h	OFICIAL 2ª	248,90
TP00100	h	Peón especial	13.536,18
		Mano de obra auxiliar (Costes indirectos)	11.211,28
		Mano de obra de la maquinaria	2.567,28
TOTAL MANO DE OBRA			47.390,71

Tabla 7.4. Cuantificación de horas de mano de obra. Actuaciones de recuperación Viv. RENFE

Indistintamente de su procedencia, sobre la cuantificación de estas horas se aplica el indicador HE a través de la expresión (5) del apartado 5.2.1. Indicador HE aplicado a recuperación de edificios. Para la aplicación de dicha expresión son indispensables los datos de HE de los distintos tipos de comida reflejados en la tabla 5.11 del mismo apartado.

Los resultados de HE producida por la mano de obra concluye con el cálculo del impacto que generan los RSU ocasionado por los trabajadores, para ello se emplea la expresión (8) del apartado 5.2.1 aplicada sobre la cuantificación de horas de mano de obra. Este resultado se expresa en HE fósil, ya que contempla la energía necesaria para la gestión del RSU generado.

HE mano de obra recuperación			
HE fósil (hag)	HE pastos (hag)	HE mar (hag)	HE cultivo (hag)
ALIMENTOS			
1,78	3,55	5,60	13,03
HE alimentos (hag)			23,96
RSU			
0,225	...	...	...
HE_{RSU} (hag)			0,225

Tabla 7.5. HE_{alimentos} (total y parciales) y HE_{RSU} producida por la manutención de los trabajadores en las actuaciones de recuperación Viv. RENFE

El mayor impacto ocasionado por los alimentos proviene de aquellos que proceden del cultivo, por tener este tipo de terreno menor productividad, seguida de la energía fósil derivada de la transformación de los alimentos.

MATERIALES

Los materiales cuantificados a través del BCRR, un total de 178 materiales distintos, se encuentran recogidos en el ANEXO III, mostrándose en este apartado los resultados de HE de CO₂ englobados en las principales familias de materiales (Tabla 7.6), los cuales representan en torno al 93% del peso de los materiales empleados en las actividades de recuperación llevadas a cabo sobre las viviendas RENFE y el 91% de las emisiones generadas en sus procesos de transformación.

Material	Cantidad TOTAL (kg)	% Peso	Emisiones Totales (kgCO ₂)	% HE CO ₂ / Total
CEMENTO	315.242,95	21,77%	239.921,26	41,14%
ACERO	43.607,31	3,01%	103.275,88	17,71%
PINTURA	56.846,67	3,93%	95.801,05	16,43%
CERÁMICO	106.434,11	7,35%	36.171,64	6,20%
ALUMINIO	3.432,16	0,24%	34.309,92	5,88%
CAL	29.822,46	2,06%	22.337,02	3,83%
HORMIGÓN	85.955,69	5,94%	16.812,15	2,88%
ARENA	704.988,86	48,68%	1.384,17	0,24%
MADERA	3.131,13	0,22%	-21.264,81	-3,65%
∑ por familias	1.349.461,3	93%	528.748,28	91%
TOTAL	1.448.251,4	100%	583.130,64	100%

Tabla 7.6. Peso (kg) y emisiones (kgCO₂) generadas por los materiales empleados en las actuaciones de recuperación Viv. RENFE

De los materiales representados en la tabla 7.6 sobresale en cuanto a peso la familia de los materiales áridos, con el 48,68% del peso total de los materiales empleados en la obra de recuperación, sin embargo, debido a la escasa energía necesaria para su transformación, de entre las familias representadas es la que menor impacto genera con tan sólo el 0,24% de las emisiones totales. Por el contrario el siguiente material con mayor peso dentro de la obra con el 21,77% del peso total es el cemento, siendo también el responsable del 41,14% de las emisiones generadas por los materiales en sus procesos de transformación.

El siguiente material con mayores emisiones de CO₂ es el acero con un 17,71%, a pesar de no ser el siguiente material de mayor peso dentro de la obra. En cuanto a la pintura, el siguiente en porcentaje de emisiones (16,43%), le ocurre lo contrario que a los áridos, tiene unas emisiones considerables en comparación con su poca representatividad (2,93%) entre los materiales de la obra, lo mismo ocurre con el aluminio que supone el 5,88% de la HE generada frente a tan sólo el 0,24% del peso.

En cuanto a los materiales cerámicos, debido a las actuaciones realizadas sobre la estructura a base de muros de carga ejecutados en fábrica de ladrillo, es un material con un representatividad considerable (7,35%) y unas emisiones también reseñables (6,20%), debido al consumo energético necesario para la cocción de estos materiales.

Llama la atención el signo negativo expresado en las emisiones de CO₂ derivadas de los materiales de madera (-3,65%), esto se debe a que el factor de emisión de la madera es negativo, por considerarse que es un material capaz de absorber CO₂ durante su periodo de producción, lo que se traduce en que con el empleo de este material se consigue reducir el impacto final del material.

Para concluir con los resultados obtenidos del consumo de materiales, falta traducir el total de emisiones producidas a HE fósil expresada en hag, para que pueda ser agregada a la HE total de la obra de recuperación. Para ello, ha de aplicarse sobre el resultado de emisiones totales: 583.130,64 kgCO₂ la expresión (10) del apartado 5.2.1, sin olvidarnos de agregar las emisiones producidas por el transporte de los materiales (Tabla 7.7).

HE MATERIALES		
Emisiones Totales	HE emisiones CO ₂ materiales (hag)	147,36
583.130,64 kgCO ₂	HE de CO ₂ del transporte de materiales (hag)	9,37
HE total (hag)		156,73

Tabla 7.7. HE fósil de materiales expresado en hag. Recuperación Viv. RENFE

Además de la HE fósil generada por los materiales de construcción, el consumo de materiales de madera también generan HE de bosques, para cuya obtención se aplica la expresión (11) a partir de la cantidad de maderas empleadas y de las productividades de la madera en función de la tipología.

Código	Unidad	Material	Cantidad Total (u)	Cantidad Total (m ³)	HE bosques (hag)
MADERAS					
CM00300	m3	Madera de pino en tablón	0,06	0,061	0,04
KM01000	m	Cerco Sapelly 70x40 mm	732,26	2,05	1,42
KM02900	u	Hoja normalizada Sapelly 35 mm	146,45	8,611	5,97
KM04200	m	Listón pino Flandes 70x30 mm	745,34	1,565	1,08
KM05300	m3	Madera Sapelly	0,26	0,262	0,18
KM08000	m	Tapajuntas Sapelly 60x15 mm	1.490,68	1,342	0,93
TOTALES			13,891	13,891	9,62

Tabla 7.8. HE_{bosques} procedente de la madera empleada en la recuperación Viv. RENFE

RCD

La gestión de los residuos de construcción y demolición generan HE de maquinaria y mano de obra, la primera se refiere a la maquinaria necesaria para el transporte de los residuos, tanto los residuos procedentes de la implantación de los materiales, los cuales se cuantifican en función de las pérdidas ocasionadas por cada tipo de material (CD), así como de los procedentes de los materiales auxiliares y que se han cuantificado como CI y la mano de obra encargada de dicho transporte. Para la obtención de cada tipo de HE se han aplicado las respectivas formulaciones referidas anteriormente en cada apartado, resultando por lo tanto HE fósil del transporte de los RCD y de la transformación de los alimentos y HE de pastos, mar y cultivos procedentes de los distintos territorios productivos de los alimentos para la mano de obra destinada a la gestión de los RCD.

HE fósil transporte RCD		HE mano de obra RCD				
	Perdida materiales (CD)		HE fósil	HE pastos	HE mar	HE cultivos
Cantidad	2534,75 m3	Cantidad	23,18 h			
HE parciales (hag)	0,39	HE parciales (hag)	0,0009	0,0017	0,0027	0,0064
HE transporte (hag)	0,39	HE mano obra (hag)	0,0117			
HE TOTAL RCD		0,402				

Tabla 7.9. HE_{RCD} procedente de la gestión de los RCD generados en la recuperación Viv. RENFE

ELECTRICIDAD Y AGUA CONSUMIDA

Los resultados de HE producidos por el consumo de electricidad y agua se obtienen al aplicar la expresión (4) y (12) respectivamente, a la cantidades totales consumidas en obra. Estos consumos proceden de los datos generales del proyecto, cuantificados de manera indirecta en función de la superficie construida y la duración de la obra, mediante aplicación de una media de consumos establecidos para la tipología edificatoria de la que se trata.

HE electricidad y agua consumidas (Costes Indirectos)		
Consumos	Casetas obra	12.435,40
electricidad (kWh)	Iluminación de obra y pruebas	2.277,60
Consumo total de electricidad		14.713,00
HE fósil electricidad (hag)		0,922
	Consumo total de agua	619,51
HE fósil agua (hag)		0,016

Tabla 7.10. HE fósil generada por los consumos eléctricos y de agua. Viv. RENFE

SUPERFICIE CONSUMIDA

El suelo ocupado por la edificación genera un HE por ocupación directa de terreno productivo, dicha HE se obtiene al aplicar las expresión (13) sobre la superficie en planta del edificio.

HE ocupación directa	
Superficie consumida (ha)	0,0876
HE (hag)	0,202

Tabla 7.11. HE por ocupación directa del edificio RENFE

HE TOTAL RECUPERACIÓN. VIVIENDAS RENFE

Se muestra el resultado de HE total derivado de las actuaciones de recuperación ejecutadas sobre el edificio de viviendas RENFE. En la tabla 7.12 se desglosan estos, primero en HE parciales para finalmente por agregación mostrar el resultado de HE total expresado en hectáreas globales (hag).

HUELLA TOTAL RECUPERACIÓN						
Huellas parciales (hag)						
Impactos	Fósil	Bosques	Pastos	Mar	Cultivos	Sup. consumida
Combustible	17,01	...	...	...	...	...
Alimentos	1,78	...	3,556	5,599	13,038	...
Electricidad	1,76	...	...	...	...	...
RSU	0,225	...	...	...	...	...
Materiales	156,73	9,620	...	...	...	...
RCD	0,390	...	...	...	...	...
Agua	0,016	...	...	...	...	...
Ocupación directa	...	...	...	...	...	0,202
HE parcial (hag)	177,91	9,62	3,56	5,60	13,04	0,20
HE parcial (hag/m2)	0,051	0,003	0,001	0,002	0,004	0,00006
HE Total (hag)	209,93					
HE Total (hag/m2)	0,0599					

Tabla 7.12. HE parciales y total de la obra de recuperación RENFE

Como puede observarse de los resultados obtenidos de las distintas HE parciales sobresale la HE fósil procedente del consumo de energía con el 84,75% de la HE total (177,91 hag), siendo los materiales los que representan la mayor parte de este impacto, concretamente suponen el 88,09% de la totalidad de la HE fósil generada (156,73 hag). A pesar de ser mucho menor su representación dentro del impacto total no ha de menospreciarse el resto de HE parciales, ya que conjuntamente las HE bosques, pastos, mar y cultivos suman el 15,25% del total.

Analizando la HE desde el tipo de impacto que producen, destacan los materiales, que suponen entre la HE fósil y la HE bosques el 79,24% de la HE total, seguido del impacto producido por los alimentos derivados de la manutención de la mano de obra con el 11,42% (tanto de trabajadores como de operarios de maquinaria) y el impacto de la maquinaria combustible con el 8,10% de la HE total. El resto de impactos (electricidad, RCD, RSU agua y superficie ocupada), suponen conjuntamente el 1,24% de la HE total.

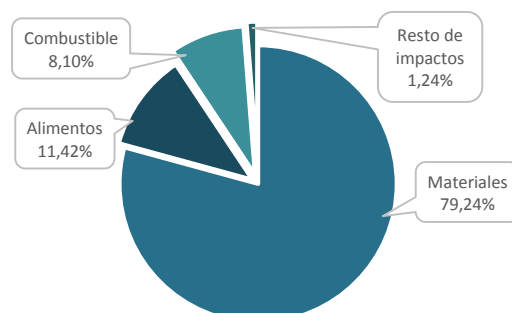


Figura 7.1. Porcentaje de HE parciales por impactos. Recuperación RENFE

7.3. Comparativa económica y ambiental de la recuperación por capítulos

Con esta comparativa se consigue una visual del impacto económico y ambiental de las diferentes actuaciones realizadas en el edificio recogidas por capítulos de obra. Como puede apreciarse en la tabla 7.13, se han englobado por capítulo tan sólo la HE fósil de los recursos básicos, esto se debe a que son los recursos que se extraen directamente de la cuantificación de los mismos a través del BCRR, además de ser la tipología de HE parcial que predomina en el impacto total de las actuaciones de recuperación.

CAPÍTULOS	PEM (€)	HE (hag)
HE fósil recursos básicos (materiales, mano de obra y maquinaria)		
03. Cimentaciones	186.131,06	60,75
04. Saneamiento	63.223,62	5,65
05. Estructuras	28.002,13	2,30
06. Albañilería	380.542,43	49,86
07. Cubiertas	87.610,05	17,45
08. Instalaciones	484.636,53	27,84
11. Carpintería y elementos de seguridad	197.518,86	10,65
17. Gestión de residuos	33.572,56	1,25
Total HE fósil recursos básicos		175,75
Σ HE fósil		
RCD, electricidad y agua		2,17
Σ resto de HE parciales		
Bosques, pastos, mar, cultivos y sup. Consumida		32,01
TOTAL RECUPERACIÓN	1.461.237,24	209,93

Tabla 7.13. Comparativa económica y ambiental por capítulos. RENFE

Concretando un poco más en los resultados obtenidos puede apreciarse cómo los impactos ambientales más acusados no concuerdan necesariamente con su representación en cuanto a importancia económica, pues el capítulo de cimentaciones, que es el cuarto en importancia económica es el que causa el mayor impacto ambiental con 0,0173 hag/m² (28,94%) de la HE fósil total, causado por el elevado consumo de cemento producido durante el proceso de recalce, por las sollicitaciones de lechada de cemento que ocasiona la deficiente capacidad portante del terreno, material que como puede apreciarse en la tabla 7.6 es el que presenta el mayor impacto, lo que concuerda con los resultados obtenidos a nivel de capítulo que se exponen en este apartado. El siguiente en cuanto a importancia de su impacto ambiental es el capítulo de albañilería con 0,0142 hag/m² (23,75%) de impacto total, en este caso se debe al elevado consumo energético necesario para la transformación e implantación de los materiales empleados en dicho capítulo.

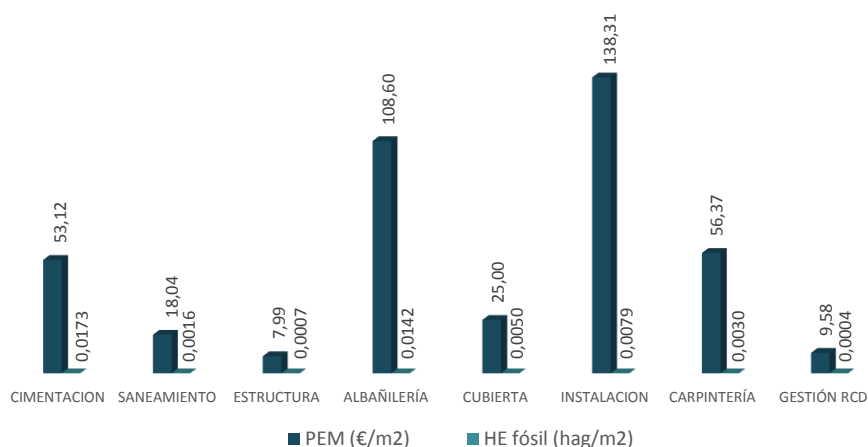


Figura 7.2. Comparativa de los impactos económicos y ambientales de los capítulos de recuperación por m².

7.4. Resultados económicos y ambientales de la demolición y nueva construcción

Del proceso de demolición del edificio se extraen resultados tanto económicos como ambientales, que unidos a los datos relativos a nueva construcción nos proporcionan los resultados para la comparativa que permite evaluar la viabilidad de la recuperación del edificio frente a su demolición y nueva construcción. A continuación se muestran dichos resultados derivados del proceso de demolición del edificio.

Impacto económico de la demolición

Tal como ya se ha especificado en el desarrollo del modelo, el importe económico de la demolición se obtiene de aplicando los precios de demolición de edificio de muro de carga y de la retirada y gestión de los RCD producidos en dicho proceso, ambos conceptos componen el coste económico de este apartado.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN PRECIOS UNITARIOS	PEM (€)	
01. DEMOLICIONES Y TRABAJOS PREVIOS			
01EMM090100	Demolición edificio exento de muros de fábrica. Medios mecánicos	71.360,60	83,50%
17. GESTIÓN DE RESIDUOS			
17RRR090420	Retirada de residuos mixtos demolición. Planta de valorización 15 km	14.096,57	16,50%
Total PEM demolición		85.457,17	100%

Tabla 7.14. PEM demolición y gestión de residuos por capítulos. Viv. RENFE

Este resultado económico por sí sólo no aporta ningún dato que requiera discusión, ya que en la comparativa que se pretende este valor se añade el presupuesto de ejecución de la nueva edificación y será en ese momento cuando el dato esté completo para la comparativa.

Impacto ambiental de la demolición

De estos precios se obtienen las cantidades de recursos básicos que generan el impacto ambiental del proceso de demolición y gestión de los residuos a través del BCRR. Al no

haber en estas actuaciones aporte de material los impactos ambientales obtenidos a través del indicador HE son los producidos por la maquinaria y mano de obra de la demolición y los derivados de la gestión de los RCD.

MAQUINARIA

Al contrario de lo que ocurre en la recuperación del edificio, en el caso de la demolición la mayor representatividad tanto de HE como de cantidad de horas de utilización corresponde con la maquinaria eléctrica con el 82,90% (1,58 hag). Esto se debe a que es la maquina empleada en el proceso de demolición, mientras que el resto de maquinaria combustible, correspondiente a la pala cargadora que se emplea para la carga de RCD.

Código	Maquinaria demolición/gestión RCD	Cantidad (h)	Coste (€)	Consumos	HE consumos (ha)	HE fósil (hag)
COMBUSTIBLE						
ME00300	Pala cargadora	21,72	518,57 l	521,40	0,27	0,34
TOTALES		21,72	518,57 l	521,40	0,27	0,34
ELÉCTRICA						
MC00100	Compresor dos martillos	1.259,25	7.996,24 kWh	25.185,00	1,25	1,58
TOTALES		1.259,25	7.996,24 kWh	25.185,00	1,25	1,58
TOTAL HE fósil					1,53	1,92

Tabla 7.15. Consumos energéticos de la maquinaria combustible (l) y eléctrica (kWh). Resultados de HE fósil expresados en ha y hag. Demolición viv. RENFE.

No se incluyen en esta tabla el camión empleado para el transporte de los residuos, ya que dichos transportes se imputan a la HE de RCD de demolición, por establecerse otras hipótesis referentes a las distancias y capacidad de los vehículos de transportes.

MANO DE OBRA

La cuantificación de la mano de obra de estos procesos corresponde tanto a las horas de trabajadores intervinientes como a los operarios encargados del manejo de la maquinaria.

Código	Ud	Mano de obra demolición / gestión RCD	Cantidad
TO02100	h	Oficial 1ª	328,50
TP00100	h	Peón especial	3.120,75
		Mano de obra de la maquinaria	1.280,97
TOTAL mano de obra			4.730,22

Tabla 7.16. Cuantificación de horas de mano de obra, demolición y gestión RCD de Viv. RENFE

De las horas de mano de obra cuantificadas en el proceso de demolición y gestión de RCD se produce HE procedente de los alimentos consumidos por los trabajadores, en las tres tipología de HE parciales derivadas de la transformación y la productividad de tipo de terreno para su obtención, así como RSU generados por los trabajadores de la obra de demolición.

HE mano de obra demolición / gestión RCD			
HE fósil (hag)	HE pastos (hag)	HE mar (hag)	HE cultivo (hag)
ALIMENTOS DEMOLICIÓN / GESIÓN RCD			
0,18	0,36	0,56	1,30
HE alimentos (hag)			2,39
RSU			
0,02	...	...	...
HE _{RSU} (hag)			0,02

Tabla 7.17. HE_{alimentos} y HE_{RSU} producida por la manutención de los trabajadores de la demolición y gestión de RCD de Viv. RENFE

RCD

La elevada cantidad de RCD producidos en el proceso de demolición genera HE procedente del transporte necesario para su gestión así como HE de mano de obra, esta última se agregará a la HE de mano de obra total, pero se genera directamente de este transporte de los residuos.

HE fósil transporte RCD		HE mano de obra RCD				
	Perdida materiales (CD)	HE fósil	HE pastos	HE mar	HE cultivos	
Cantidad	10.950,00 m ³	Cantidad	98,55 h			
HE parciales (hag)	1,68	HE parciales (hag)	0,00	0,007	0,012	0,027
HE transporte	1,68	HE mano obra	0,05			
HE TOTAL RCD		1,726				

Tabla 7.18. HE_{RCD} procedente de la gestión de los RCD de Viv. RENFE

Puede apreciarse como el elevado volumen de residuos generado en la demolición del edificio (Tabla 7.18) deriva en una considerable HE fósil procedente del consumo de combustible empleado en el transporte de los mismos. Las HE parciales proceden de los alimentos consumidos por los operarios encargados de dichos transportes.

HE TOTAL DEMOLICIÓN / GESTIÓN RCD, VIVIENDAS RENFE

En la siguiente tabla 7.19 se recogen los resultados totales de las HE producidas por la demolición del edificio y la gestión de los residuos generados. Por HE parciales se muestran los resultados obtenidos de los impactos que generan estos procesos, para finalmente mostrar el resultado final.

HUELLA TOTAL DEMOLICIÓN / GESTIÓN RCD				
Impactos	Huellas parciales (hag)			
	Fósil	Pastos	Mar	Cultivos
Combustible	0,343			
Electricidad	1,578			
Alimentos	0,180	0,360	0,570	1,330
Residuos RSU	0,020			
Residuos RCD	1,680			
HE parcial (hag)	3,80	0,36	0,57	1,33
HE parcial (hag/m2)	0,00108	0,000103	0,00016	0,00038
HE Total (hag)	6,06			
HE Total (hag/m2)	0,002			

Tabla 7.19. HE parciales y total de demolición y gestión de residuos RENFE

Debido a que en estos procesos de demolición y gestión no se produce consumo de materiales, el principal impacto se genera por el consumo de alimentos de los trabajadores y operarios de maquinaria, el cual representa un 40,26% de la HE total producida en estos procesos, seguido del transporte de los RCD con el 27,72% y de la electricidad consumida por la maquinaria en el proceso de demolición (26,04%), representando tanto el consumo de combustible y los RSU un impacto minoritario.

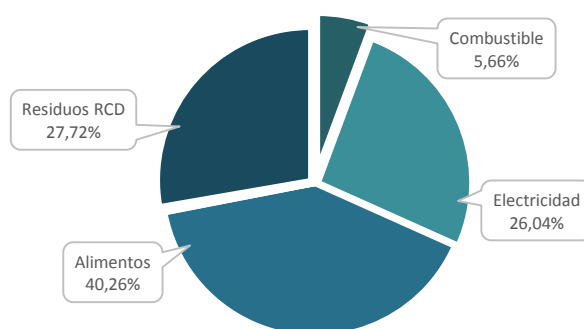


Figura 7.3. Porcentaje de HE parciales por impactos de la demolición y gestión de residuos RENFE

Impacto económico de la nueva construcción

Como ya se ha estipulado en el desarrollo del modelo, los resultados de nueva construcción tanto económicos como ambientales proceden de datos obtenidos en estudios previos. En el caso de los resultados económicos, estos proceden de los presupuestos de 94 proyectos de viviendas sociales, a través de los cuales, asimilando las características constructivas del edificio de viviendas RENFE se extrae el importe por

m² para nueva construcción, con las mismas características constructiva y con un nivel de calidades medias (Tabla 7.20).

Características constructivas del edificio RENFE	PEM (€/m ²)	Sup. construida (m ²)
PB+03		
Sin sótano		
Viviendas en PB	503,25	3.504,00
Cimentación por Zapata		
Estructura de Muro de carga		
Cubierta Horizontal		
PEM nueva construcción	1.763.374,63 €	

Tabla 7.20. PEM total de nueva construcción de edificio tipo RENFE

Impacto ambiental de la nueva construcción

Del mismo modo se extrae el impacto ambiental producido por la ejecución de la nueva edificación, en función de la tipología edificatoria y de la superficie construida total. En la tabla 7.21 se muestra la HE total de la construcción de la nueva edificación.

HUELLA TOTAL NUEVA CONSTRUCCIÓN	
HE Total (hag)	452,02
HE Total (hag/m ²)	0,129

Tabla 7.21. HE total nueva construcción de edificio tipo RENFE

Para conocer los impactos ambientales parciales en el mismo grado de detalle que en los procesos de recuperación y demolición anteriormente descritos pueden consultarse los datos de la tipología de PB+03 desarrollados en el estudio original (González-Vallejo et al, 2015a y 2015b). En este apartado se ha extraído tan sólo el dato de HE total necesario para realizar la comparativa que se pretende en el modelo de evaluación de viabilidad objeto de la presente tesis.

7.5. Comparativa recuperación vs demolición y nueva construcción

A continuación se muestra la comparativa de los resultados económicos y ambientales de los tres procesos: recuperación, demolición y nueva construcción (Tabla 7.22). Donde se muestran el resultado de PEM de la recuperación frente al de demolición y nueva construcción ya que ambos procesos son complementarios. Para que la comparativa sea completa, también se muestran los resultados de HE obtenidos expresados en hectáreas totales y por metro cuadrado.

COMPARATIVA ENTRE PROCESOS	PEM (€)	HE total (hag)	HE total (hag/m ²)
Recuperación	1.602.100,51	209,93	0,060
Demolición	85.457,17	6,06	0,002
Nueva construcción	1.763.374,63	452,02	0,129
Demolición + Nueva Construcción	1.848.831,80	458,08	0,131

Tabla 7.22. Comparativa económica y ambiental recuperación vs demolición / nueva construcción "RENFE"

Los porcentajes representados en la figura 7.4 se obtienen considerando los resultados de nueva construcción como base de la comparativa, de manera que representan el cien por cien (1,00), encontrándose los resultados de recuperación por debajo de dicho porcentaje y el de demolición más nueva construcción por encima, ya que resulta de la agregación de los resultados de demolición. De esta manera se evidencia el porcentaje de incremento que supone la demolición del edificio en el cómputo de ambos procesos, tanto desde el punto de vista económico como ambiental.

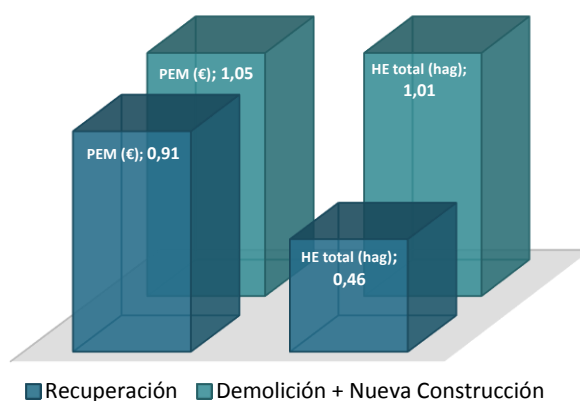


Figura 7.4. Comparativa porcentual económica y ambiental de la recuperación vs demolición + nueva construcción

Puede observarse como el PEM de recuperación del edificio es sólo un 9,15% más bajo que la demolición y nueva construcción del edificio, mientras que el impacto ambiental de la recuperación es un 53,56% menor en el caso de la recuperación del edificio. Con este resultado se evidencia la relevancia del presente modelo de viabilidad, ya que pone de manifiesto que el aspecto económico no es el único que ha de ser tenido en cuenta en el análisis de viabilidad intervención sobre el edificio, sino que han de considerarse los aspectos medioambientales, dada la elevada representatividad de los resultados obtenidos.

7.6. Comparativa de mejora energética: Edificio recuperado vs nuevo edificio

Para finalizar la discusión de resultados relativos a la aplicación del modelo sobre el edificio de viviendas "RENFE", se muestran los datos obtenidos de la simulación energética realizada tras las actuaciones ejecutadas sobre el edificio. Concretamente se ha simulado el edificio en sus tres etapas: en el estado inicial previa actuación sobre el mismo, en su estado recuperado, una vez realizadas las actuaciones de recuperación y definidas en el apartado 6.1.2 Aplicación del modelo al caso de estudio, así como en el supuesto de la nueva construcción del edificio. Con esta comparativa se pretende, además de corroborar las mejoras energéticas conseguidas, justificar el incremento que en el PEM han supuesto las actuaciones de recuperación efectuadas, ya que la reparación patológica tanto de los elementos de envolvente del edificio como de los sistemas han ido siempre acompañadas de mejora energética, lo que ratifica la importancia del aspecto ambiental en el conjunto de decisiones técnicas.

	Transmitancia U (W/m ² K)	Rendimiento Nominal (COP/EER/%)	Emisiones CO ₂ Globales (kgCO ₂ /m ² ·año)	Calificación energética	Consumo energético (kWh/m ² ·año)	Consumo energético final (kWh/m ² ·25 años)
ESTADO INICIAL						
Cerramiento exterior	2,112	...	26,270	E	89,700	2.242,500
Cubierta	1,107	...				
Carpinterías	5,700	...				
Sistemas calefacción/ACS	...	1,0/87%				
ESTADO RECUPERADO (Rehabilitación energética)						
Cerramiento exterior	0,383	...	6,640	B	21,010	525,250
Cubierta invertida	0,332	...				
Carpinterías	2,220	...				
Sistemas calef/refrig/ACS	...	4,4/4,2/95%				
NUEVA CONSTRUCCIÓN						
Cerramiento exterior	1,720	...	14,960	D	51,140	1.278,500
Cubierta	0,570	...				
Carpinterías	3,540	...				
Sistemas calef/refrig/ACS	...	1,8/2,2/87%				

Tabla 7.23. Comparativa de mejora energética: Edificio recuperado vs nuevo edificio. "RENFE"

Los resultados obtenidos se exponen comparativamente en la tabla 7.23, en la cual se indican las transmitancias de cada elemento de la envolvente así como los rendimientos de sistemas de cada una de las etapas. De estos datos se extraen las emisiones de CO₂ y consumos energéticos anuales que definen la calificación energética del edificio.

El edificio en su estado inicial presenta con una calificación energética E, siendo esta bastante deficiente ya que supone un consumo muy elevado (89,70 kWh/m²) que se traduce también en una gran cantidad de emisiones de 26,27 kgCO₂/m². Este resultado se desprende de la escasa calidad energética de las soluciones constructivas que constituyen el edificio original, carente de cualquier tipo de material aislante en la envolvente, con unas carpinterías exteriores sin ningún tipo de ventaja energética, como puede apreciarse al observar el dato de transmitancia térmica (5,70 W/m²K) y dotado con unos sistemas de escaso rendimiento energético.

Con las actuaciones de recuperación descritas se consigue mejorar la eficiencia energética del edificio en tres letra, obteniéndose una calificación B. Esta calificación se consigue mejorando las soluciones de envolvente y de sistemas, como puede apreciarse en los datos de transmitancia, cuyos valores se han reducido considerablemente al compararlos con el estado inicial, del mismo modo se consiguen optimizar los rendimientos nominales de los sistemas. Esta mejora de calificación consigue reducir la emisiones de CO₂ anuales un 75,72% (Fig. 7.5) en comparación con el estado inicial del edificio (6,64 kgCO₂/m²).

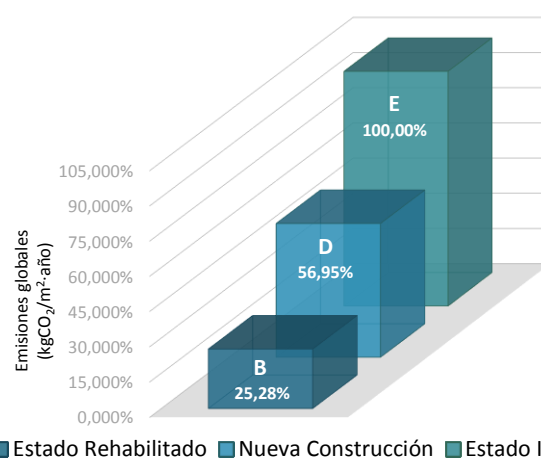


Figura 7.5. Comparativa porcentual de las emisiones globales generadas en las tres etapas.

Antes de entrar a analizar los resultados obtenidos para la nueva edificación, es necesario puntualizar que las soluciones constructivas simuladas en este supuesto corresponden con las exigencias mínimas establecidas en CTE-DBHE correspondiente a la versión 2006, por ser esta la versión que se encontraba en vigor en el momento en el que tuvo lugar el incidente (2010) que dio origen a la necesidad de intervención sobre el edificio “RENFE”. Al aplicar tan sólo las exigencias mínimas establecidas en esta versión, la calificación energética obtenida para la nueva edificación es una D, lo que supone tan sólo una letra de mejora energética en relación con al estado inicial del edificio, traducido a generación de emisiones ($14,96 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2$), se reducen casi a la mitad (43,05%).

Considerando que el impacto en términos de HE producido por la actividad de recuperación o nueva construcción es un impacto puntual del periodo de vida útil del edificio, aplicando la metodología de HE a los resultados de consumos energéticos obtenidos de la simulación se consigue conocer el impacto producido en un determinado periodo de uso del edificio. Como se desprende de la última columna de la tabla 7.23, este periodo se ha establecido en 25 años (sin actualización monetaria), transcurso de tiempo que se estima hasta la próxima intervención de relevancia en el edificio. Conjuntamente con los impactos de HE obtenidos para los consumos en dicho periodo se obtiene el impacto económico, asignando el coste del kWh correspondiente (Tabla 7.24).

Etapas	Consumo energético (kWh/m ²) 25 años	Coste (€/m ²)	HE fósil (hag/m ²)	%
ESTADO INICIAL	2.242,50	316,27	0,141	100%
ESTADO RECUPERADO	525,25	74,08	0,033	23,42%
NUEVA CONSTRUCCIÓN	1.278,50	180,31	0,080	57,01%

Tabla 7.24. Impacto económico y ambiental del consumo energético producido en las tres etapas en un periodo de 25 años.

Como puede apreciarse en los resultados obtenidos, con las mejoras realizadas sobre el edificio se consigue una importante reducción de consumo energético en el periodo establecido (25 años), pasando de los 2.242,5 kWh/m² iniciales (calificación energética E), a 525,25 kWh/m² en el estado recuperado (calificación energética B), lo que supone una reducción tanto del impacto económico como ambiental del 76,28% en comparación con el estado inicial. En el caso de la nueva construcción, a pesar de sólo conseguir mejorar en una letra la calificación energética, al final del periodo se produce un reducción del 42,99% en ambos impactos.

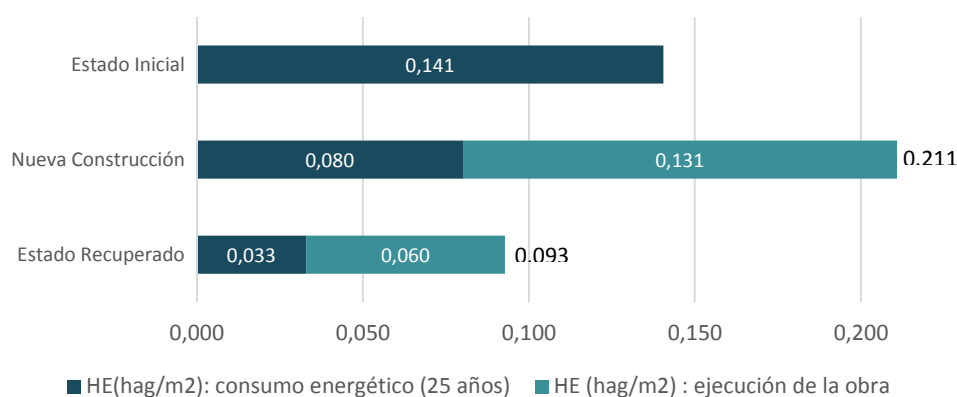


Figura 7.6. Comparativa de impacto ambiental: HE total derivada de consumos energéticos y ejecución de obra. Recuperación, demolición/nueva construcción y estado inicial

Para concluir este apartado es interesante realizar una última comparativa (Fig. 7.6), entre la HE generada por este consumo energético durante el periodo de uso del edificio de 25 años y la HE total generada en el momento puntual de la obra de recuperación y demolición/nueva construcción (Tabla 7.22), incorporando el consumo energético del estado recuperado y de la nueva construcción en ese mismo periodo de uso. En el supuesto de no haber propuesto actuaciones que mejoraran energéticamente el edificio, restringiéndose a la mera subsanación de las patologías, el impacto producido por consumo energético durante el periodo analizado sería de 0,141 hag/m² (estado inicial), mientras que agregando al consumo energético ocasionado por el estado recuperado en ese mismo periodo (0,033 hag/m²) y el impacto ocasionado por la obra de recuperación (0,060 hag/m²), ambos suman 0,093 hag/m², lo que supone prácticamente un 65% menos de impacto. Sin embargo, a pesar de conseguir una reducción de consumo energético bastante significativa con la nueva construcción, el proceso de demolición y ejecución de la nueva construcción suponen un impacto tan elevado que conjuntamente es la etapa que mayor impacto produce con 0,211hag/m².

Estos resultados permiten justificar la importancia de las actuaciones de mejora energética realizadas en la recuperación del edificio, ya que comparativamente se consiguen excelentes resultados de reducción de impacto tanto económicos como ambiental para el periodo analizado.

8. Resultados del análisis de sensibilidad del modelo

Se exponen los resultados obtenidos de la aplicación del modelo sobre los casos expuestos en el apartado 6.2. Análisis de sensibilidad del modelo. Dicha aplicación ha consistido en introducir en el motor de cálculo contenido en el modelo las actuaciones y los grados de intervención definidos en las tablas descriptivas de cada caso (Tablas de la 6.3 a la 6.6). Con los resultados obtenidos se analiza la sensibilidad frente a cambios tanto en las soluciones constructivas, materiales empleados, como en la gravedad o niveles patológicos presentes en los distintos elementos del edificio, para ello se exponen en primer lugar los resultados obtenidos para los cinco casos en sus dos variantes, edificios de tres y cuatro plantas, para concluir la exposición con una comparativa de los datos económicos y ambientales obtenidos en los diferentes casuísticas analizados.

Análisis de casos

El modelo de evaluación nos proporciona la cuantificación tanto económica como ambiental de la recuperación del edificio a nivel de capítulos de obra, por lo que se expondrán en primer lugar los datos por capítulos para cada caso, aunando la información de las dos tipologías estudiadas (PB+03 y PB+02), lo que permite realizar una comparativa de los PEM (€) y las HE (hag) totales y por capítulos. Como puede apreciarse en las tablas de resultados (Tablas 7.25, 7.27, 7.29, 7.31 y 7.33) se han englobado por capítulo tan sólo la HE fósil de los recursos básicos (maquinaria, mano de obra y materiales), esto se debe a que son los recursos que se extraen directamente de la cuantificación del BCRR, además de ser, según se extrae de los resultados obtenidos de la aplicación del modelo sobre el edificio RENFE, la HE parcial que predomina en el impacto total de las actuaciones de recuperación.

Se cierra el análisis de sensibilidad de cada caso con una comparativa que relaciona los resultados económicos y ambientales de la recuperación y demolición / nueva construcción.

CASO 1: recuperación integral

En la tabla 7.25 se muestra el resultado de HE total derivado de las actuaciones de recuperación ejecutadas en el caso 1, se desglosan primero en HE parciales para finalmente por agregación mostrar el resultado de HE total expresado en hectáreas globales (hag), para la topología PB+03 y PB+02.

Puede observarse que sobresale la HE fósil procedente del consumo de energía con 240,06 hag en PB+03 y 217,24 en PB+02 hag de la HE total, siendo los materiales los que representan la mayor parte de este impacto, concretamente suponen respectivamente el 78,30% (224,16 hag) y el 70,18% (200,91 hag) de la HE fósil generada. No ha de menospreciarse el resto de HE parciales, ya que conjuntamente las HE bosques, pastos, mar y cultivos suman el 16,15% Y 13,13% del total respectivamente.

Analizando la HE desde el tipo de impacto que producen, como se ha puntualizado en el párrafo anterior destacan los materiales, seguido del impacto producido por los alimentos derivados de la manutención de la mano de obra con el 35,44% y el 29,47% respectivamente y el impacto de la maquinaria combustible con el 8,01% y 7,26% de la HE total. El resto de impactos (electricidad, RCD, RSU agua y superficie ocupada), suponen conjuntamente el 1,32% y el 1,24% de la HE total.

HUELLA TOTAL RECUPERACIÓN													
Impactos	Huellas parciales (hag)												
	Energía		Bosques		Pastos		Mar		Cultivos		Superficie consumida		
	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	
Combustible	22,92	20,78	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Electricidad	2,45	2,44	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Agua	0,03	0,02	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Alimentos	2,63	2,19	...	...	5,26	4,39	8,28	6,91	19,28	16,08	...	...
RSU	0,33	0,28	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Materiales	211,1	191,0	13,04	9,89	...	...	...	...	...	...	...	...
RCD	0,58	0,52	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ocupación directa	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0,38	0,31
HE parcial (hag)	240,0	217,2	13,04	9,89	5,26	4,39	8,28	6,91	19,28	16,08	0,38	0,31	
HE parcial (hag/ m²)	0,054	0,065	0,003	0,003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,005	0,00009	0,00009	
PB+03: HE Total (hag)	286,28												
PB+03: HE Total (hag/m²)	0,064												
PB+02: HE Total (hag)	254,82												
PB+02: HE Total (hag/ m²)	0,077												

Tabla 7.25. HE parciales y total de las actuaciones de recuperación (CASO 1 (PB+03 y PB+02))

En el análisis por capítulos puede apreciarse como en ambas tipologías (Figura 7.7), tanto en el edificio de PB+03 como en PB+02, las instalaciones causan el mayor impacto económico (167,10 €/m²), sin embargo este capítulo es el tercero en importancia respecto a la HE fósil generada (0,009 hag/ m²), encontrándose por delante en cuanto a impacto ambiental los capítulos de cimentación (0,017 hag/ m² y 0,024 hag/ m² respectivamente) y la albañilería (0,014 hag/ m²).

CAPÍTULOS	PB+03		PB+02	
	PEM (€)	HE (hag)	PEM (€)	HE (hag)
HE fósil recursos básicos (materiales, mano de obra y maquinaria)				
03. Cimentaciones	235.877,56	76,41	247.668,83	80,21
04. Saneamiento	84.492,71	6,57	100.603,75	8,96
05. Estructuras	118.287,17	8,48	94.437,96	6,83
06. Albañilería	661.294,37	60,89	501.492,57	46,95
07. Cubiertas	111.025,23	22,91	111.981,17	22,39
08. Instalaciones	742.015,54	38,79	556.505,81	29,65
11. Carpintería y elementos de seguridad	236.763,24	14,69	192.919,46	11,43
Accesibilidad	78.268,13	6,57	74.968,33	6,23
17. Gestión de residuos	49.028,06	1,69	43.739,94	1,62
Total HE fósil recursos básicos		237,00		214,27
Σ HE fósil				
RCD, electricidad y agua		3,06		2,97
Σ resto de HE parciales				
Bosques, pastos, mar, cultivos y sup. consumida		46,23		37,58
TOTAL RECUPERACIÓN	2.317.052,02	286,29	1.924.317,81	254,82

Tabla 7.26. Comparativa económica y ambiental por capítulos (CASO 1 (PB+03 y PB+02))

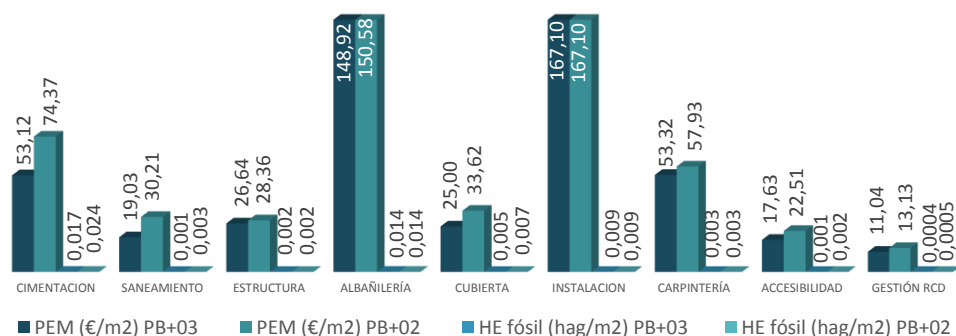


Figura 7.7. Comparativa de los impactos económicos y ambientales de los capítulos de recuperación por m². (CASO 1 (PB+03 y PB+02))

En lo referente a la comparativa de los impactos ocasionados por la obra de recuperación frente a la demolición y nueva construcción, debido al grave estado patológico que presenta este supuesto, ya que se interviene en profundidad sobre todos los elementos del edificio, puede apreciarse como económicamente causa mayor impacto la recuperación del edificio, sobre todo por el incremento de mano de obra por la mayor complejidad de los trabajos. Sin embargo en cuanto a impacto ambiental, la obra de recuperación es un 50,68% (0,064hag/m²) inferior en PB+03 y un 45,65% (0,077hag/m²) inferior en PB+02 que la huella producida por la demolición y nueva construcción, la justificación a esta elevada diferencia entre los impactos ambientales de ambos procesos se encuentra en el elevado consumo de materiales que se precisa para la ejecución de la nueva obra de edificación, recurso que causa el mayor impacto en esta tipología de obra (González-Vallejo et al, 2015a y 2015b).

COMPARATIVA ENTRE PROCESOS	PB+03			PB+02		
	PEM (€)	HE total (hag)	HE total (hag/m²)	PEM (€)	HE total (hag)	HE total (hag/m²)
Recuperación	2.540.415,83	286,28	0,064	2.109.822,04	254,82	0,077
Demolición	108.296,97	7,69	0,002	68.728,250	5,952	0,002
Nueva construcción	2.234.664,68	572,82	0,129	1.789.283,215	462,920	0,139
Demolición + Nueva Construcción	2.342.961,65	580,51	0,131	1.858.011,47	468,87	0,141

Tabla 7.27. Comparativa económica y ambiental recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 1 (PB+03 y PB+02))

En la figura 7.8 se realiza la comparativa de los resultados económicos y ambientales entre procesos, con el fin de evidenciar el incremento que supone la demolición del edificio en el cómputo de ambos procesos se toma como base de la comparativa los resultados de nueva construcción, encontrándose siempre la demolición más nueva construcción por encima de la unidad, ya que resulta de la agregación de los resultados de demolición a la nueva construcción tomada como base de la comparativa.

En ambas tipologías se observa que los resultados económicos señalan la opción de la demolición y nueva construcción como la más ventajosa, por encontrarse el PEM de la recuperación un 7,77% por encima en el caso de la tipología PB+03 y un 11,94% también superior al de nueva planta y demolición en el caso de la PB+02. Sin embargo, el modelo también nos devuelve la variación porcentual del impacto ambiental ocasionado en

ambos procesos, representando estos porcentajes un diferencia inversa mucho más acusada, con una HE un 50,68% inferior en el caso de la recuperación del edificio de PB+03 y un 45,65% inferior para PB+02, lo que pone de manifiesto la relevancia del impacto ambiental en el proceso decisivo (Fig. 7.8).

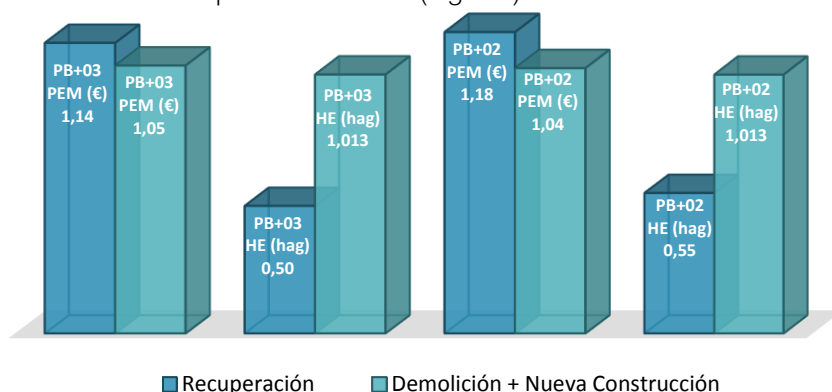


Figura 7.8. Comparativa porcentual económica y ambiental (HE total) recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 1 (PB+03 y PB+02))

CASO 2: estado patológico muy grave

Sobresale la HE fósil procedente del consumo de energía con 280,63 hag en PB+03 y 250,79 hag en PB+02 de la HE total (Tabla 7.28), el resto de HE parciales (bosques, pastos, mar y cultivos) suman el 10,64% y 8,98% del total respectivamente.

Analizando la HE desde el tipo de impacto que producen, destacan los materiales que suponen entre la HE fósil y la HE bosques el 83,91% y 75,01% de la HE total (PB+03 y PB+02 respectivamente), seguido del impacto producido por el impacto de la maquinaria combustible con el 35,93% y 32,03% de la HE total. El resto de impactos (electricidad, RCD, RSU agua y superficie ocupada), suponen conjuntamente el 1,18% y el 1,08% de la HE total.

HUELLA TOTAL RECUPERACIÓN												
Impactos	Huellas parciales (hag)											
	Energía		Bosques		Pastos		Mar		Cultivos		Superficie consumida	
	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02
Combustible	35,93	32,03	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Electricidad	2,22	2,11	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Agua	0,03	0,01	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Alimentos	2,34	1,97	...	...	4,69	3,95	7,38	6,22	17,18	14,47	...	...
RSU	0,30	0,25	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Materiales	239,33	213,97	0,89	0,78	...	...	...	...	...	...	...	...
RCD	0,49	0,44	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Ocupación directa	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0,33	0,28
HE parcial (hag)	280,63	250,79	0,89	0,78	4,69	3,95	7,38	6,22	17,18	14,47	0,33	0,28
HE parcial (hag/ m²)	0,063	0,075	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,004	0,00007	0,00008
PB+03: HE Total (hag)							311,09					
PB+03: HE Total (hag/m²)							0,0701					
PB+02: HE Total (hag)							276,48					
PB+02: HE Total (hag/ m²)							0,0830					

Tabla 7.28. HE parciales y total de las actuaciones de recuperación (CASO 2 (PB+03 y PB+02))

El capítulo que causa el mayor impacto ambiental es en el supuesto de edificio de PB+3 el capítulo de albañilería con un 88,41 hag (Tabla 7.26), sin embargo en PB+02 es el capítulo de cimentación el que causa mayor impacto ambiental con 80,21 hag, coincidiendo ambas tipologías (PB+03 y PB+02) en el capítulo de albañilería como el que presenta el mayor impacto económico, con 53,12 €/m² y 74,37€/m² (Fig. 7.9).

CAPÍTULOS	PB+03		PB+02	
	PEM (€)	HE (hag)	PEM (€)	HE (hag)
HE fósil recursos básicos (materiales, mano de obra y maquinaria)				
03. CIMENTACIONES	235.877,56	76,44	247.668,83	80,21
04. SANEAMIENTO	72.763,10	6,62	84.713,75	7,74
05. ESTRUCTURAS	118.287,17	8,77	94.437,96	6,83
06. ALBAÑILERÍA	793.020,16	88,41	603.257,44	67,95
07. CUBIERTAS	182.348,40	40,86	183.771,07	40,36
08. INSTALACIONES	693.786,34	40,58	520.334,28	30,87
11. CARPINTERÍA Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD	142.375,44	7,91	114.994,34	6,42
ACCESIBILIDAD	74.871,49	6,59	71.571,68	6,46
17. GESTIÓN DE RESIDUOS	41.554,12	1,71	37.536,33	1,38
Total HE fósil recursos básicos		277,89		248,22
Σ HE fósil				
RCD, electricidad y agua		2,74		2,57
Σ resto de HE parciales				
Bosques, pastos, mar, cultivos y sup. consumida		30,46		25,69
TOTAL RECUPERACIÓN	2.354.883,78	311,09	1.958.285,68	276,48

Tabla 7.27. Comparativa económica y ambiental por capítulos (CASO 2 (PB+03 y PB+02))

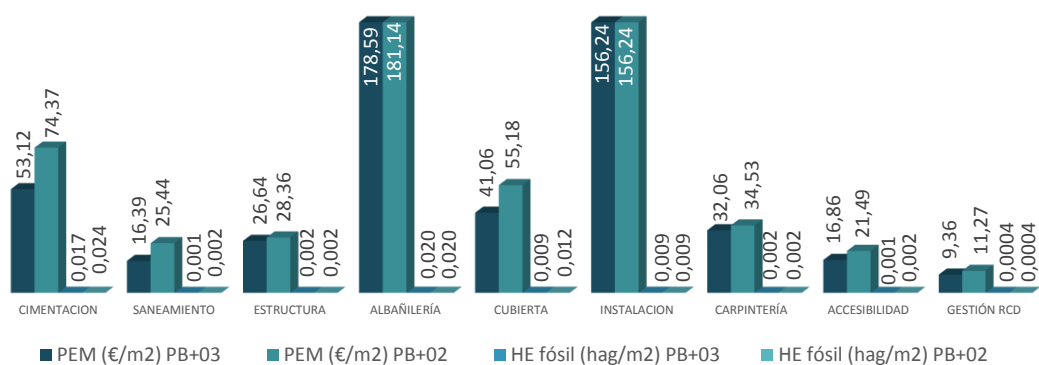


Figura 7.9. Comparativa de los impactos económicos y ambientales de los capítulos de recuperación por m². (CASO 2 (PB+03 y PB+02))

Los impactos generados en este caso de estudio, a pesar de presentar un estado estado patológico algo menos deficiente que el supuesto anterior, también muestra un mayor impacto económico en la opción de recuperación del edificio. En figura 7.10 se observa en ambas tipologías, tomando como base de la comparativa los resultados de nueva construcción, aparece la opción de la demolición y nueva construcción como la más ventajosa, por encontrarse el PEM de la recuperación por debajo ambas tipologías.

Sin embargo, la variación porcentual del impacto ambiental ocasionado en ambos procesos destacan a la recuperación como el proceso con menor impacto ambiental en

ambas tipologías (PB+03 y PB+02), con una HE un 50,92% y un 47,05% inferior en el caso de la recuperación del edificio.

COMPARATIVA ENTRE PROCESOS	PB+03			PB+02		
	PEM (€)	HE total (hag)	HE total (hag/m²)	PEM (€)	HE total (hag)	HE total (hag/m²)
Recuperación	2.581.894,57	311,09	0,070	2.147.064,41	276,48	0,083
Demolición	108.296,97	7,69	0,002	68.728,25	5,952	0,002
Nueva construcción	2.304.825,86	626,11	0,141	1.845.460,87	516,20	0,155
Demolición + Nueva Construcción	2.413.122,83	633,80	0,143	1.914.189,12	522,15	0,157

Tabla 7.28. Comparativa económica y ambiental recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 2 (PB+03 y PB+02))

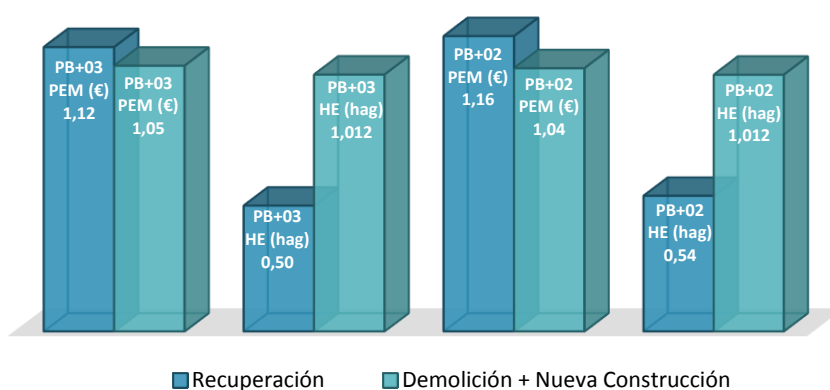


Figura 7.10. Comparativa porcentual económica y ambiental (HE total) recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 2 (PB+03 y PB+02))

CASO 3: estado patológico grave

Destacan los materiales que suponen entre la HE fósil y la HE bosques el 73,64% y 65,23% de la HE total (PB+03 y PB+02 respectivamente), seguido del impacto producido por el impacto de la maquinaria combustible con el 10,17% y 8,87% respectivamente y del impacto producido por los alimentos derivados de la manutención de la mano de obra con el 8,09% y el 6,92% de la HE total.

HUELLA TOTAL RECUPERACIÓN												
Impactos	Huellas parciales (hag)											
	Energía		Bosques		Pastos		Mar		Cultivos		Superficie consumida	
	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02
Combustible	29,11	25,39										
Electricidad	1,86	1,92										
Agua	0,02	0,01										
Alimentos	1,72	1,47			3,43	2,94	5,41	4,63	12,59	10,78		
RSU	0,22	0,19										
Materiales	210,78	186,67	0,05	0,08								
RCD	0,35	0,32										
Ocupación directa											0,24	0,20
HE parcial (hag)	244,05	215,97	0,05	0,08	3,43	2,94	5,41	4,63	12,59	10,78	0,24	0,20
HE parcial (hag/ m²)	0,055	0,065	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,00005	0,00006
PB+03: HE Total (hag)	265,78											
PB+03: HE Total (hag/m²)	0,0599											
PB+02: HE Total (hag)	234,60											
PB+02: HE Total (hag/ m²)	0,0704											

Tabla 7.29. HE parciales y total de las actuaciones de recuperación (CASO 3 (PB+03 y PB+02))

La tabla 7.30 muestra el capítulo de albañilería como el que presenta el mayor impacto ambiental en el edificio de PB+03, sin embargo en PB+02 es el capítulo de cimentación el que genera el mayor impacto ambiental, siguiendo en este aspecto la misma tendencia que el caso anterior a pesar de presentar este supuesto un estado patológico menos deficiente que el anterior, con menos porcentaje de intervención en la mayoría de sus actuaciones (Tabla 6.4), pero manteniendo un porcentaje de actuación elevado en cuanto a daño en la cimentación, en cerramiento y cubierta entre otros, lo que justifica los resultados obtenidos.

En la comparativa por capítulo de la figura 7.11 se corroboran los datos obtenidos, en el supuesto de edificio de PB+3 el capítulo de albañilería presenta 0,018 hag/m² y en PB+02 el capítulo de cimentación es el que causa mayor impacto ambiental con 0,024 hag/m², sin embargo ambas tipologías (PB+03 y PB+02) muestran el capítulo de instalaciones como el que presenta el mayor impacto económico con 167,46 €/m². Este incremento en el capítulo de instalaciones, en comparación con el caso anterior, se debe a la implantación en el edificio de un nuevo sistema de calefacción a partir de radiadores alimentados con energía solar térmica.

CAPÍTULOS	PB+03		PB+02	
	PEM (€)	HE (hag)	PEM (€)	HE (hag)
HE fósil recursos básicos (materiales, mano de obra y maquinaria)				
03. CIMENTACIONES	235.877,56	76,49	247.668,83	80,21
04. SANEAMIENTO	59.315,17	7,76	74.397,06	9,86
05. ESTRUCTURAS	70.972,30	5,81	56.662,78	4,36
06. ALBAÑILERÍA	614.533,85	78,79	469.307,11	60,37
07. CUBIERTAS	72.959,95	10,57	73.588,15	10,87
08. INSTALACIONES	743.589,90	46,52	557.686,56	35,26
11. CARPINTERÍA Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD	248.222,57	12,98	201.499,13	10,50
ACCESIBILIDAD	13.338,48	1,82	11.418,66	1,29
17. GESTIÓN DE RESIDUOS	29.786,59	1,07	27.529,35	0,99
Total HE fósil recursos básicos		241,81		213,72
Σ HE fósil				
RCD, electricidad y agua		2,23		2,26
Σ resto de HE parciales				
Bosques, pastos, mar, cultivos y sup. consumida		21,73		18,62
TOTAL RECUPERACIÓN	2.088.596,36	265,78	1.719.757,62	234,60

Tabla 7.30. Comparativa económica y ambiental por capítulos (CASO 3 (PB+03 y PB+02))

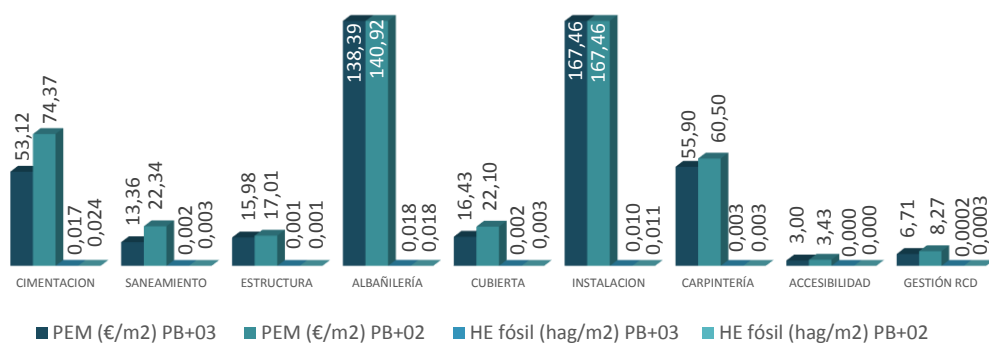


Figura 7.11. Comparativa porcentual de los impactos económicos y ambientales por capítulos (CASO 3 (PB+03 y PB+02))

Tomando como base de la comparativa los resultados de nueva construcción, en la figura 7.12 se observa diferencia en ambas tipologías, ya que los resultados económicos señalan la opción de la demolición y nueva construcción como la más ventajosa para el edificio de PB+2, por encontrarse el PEM de la recuperación un 2,32% por debajo que la recuperación, mientras que en el caso de la tipología PB+03, aparece como opción más favorable económicamente la recuperación, presentando un PEM (€) un 1,46% más bajo que la opción de demolición y nueva construcción de esta tipología. Sin embargo el impacto ambiental ocasionado en ambos procesos representan unos porcentajes mucho más acusados a favor de la recuperación, con una HE un 54,22% inferior en el caso del edificio de PB+03 y un 49,97% inferior para PB+02. Esto permite comprobar la sensibilidad del modelo ante el cambio de número de plantas en la tipología edificatoria seleccionada.

COMPARATIVA ENTRE PROCESOS	PB+03			PB+02		
	PEM (€)	HE total	HE total (hag/m ²)	PEM (€)	HE total	HE total (hag/m ²)
Recuperación	2.289.937,05	265,78	0,060	1.885.542,25	234,60	0,070
Demolición	108.296,97	7,69	0,002	68.728,25	5,952	0,002
Nueva construcción	2.234.664,68	572,82	0,129	1.789.283,21	462,9	0,139
Demolición + Nueva Construcción	2.342.961,65	580,51	0,131	1.858.011,47	468,87	0,141

Tabla 7.31. Comparativa económica y ambiental recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 3 (PB+03 y PB+02))

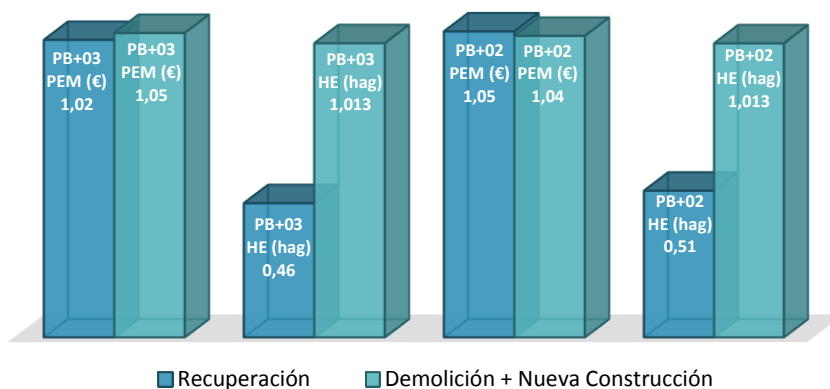


Figura 7.12. Comparativa porcentual económica y ambiental (HE total) recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 3 (PB+03 y PB+02))

CASO 4: estado patológico gravedad media

La HE fósil derivada del consumo de energía suponen 155,68 hag en PB+03 y 142,07 hag en PB+02 de la HE total (Tabla 7.32). Destacan los materiales que suponen entre la HE fósil y la HE bosques el 43,66% y 39,91% de la HE total (PB+03 y PB+02 respectivamente), seguido del impacto producido por el impacto de la maquinaria combustible con el 35,93% y 32,03% de la HE total.

HUELLA TOTAL RECUPERACIÓN												
Impactos	Huellas parciales (hag)											
	Energía		Bosques		Pastos		Mar		Cultivos		Superficie consumida	
	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02
Combustible	27,77	25,18										
Electricidad	1,31	1,27										
Agua	0,01	0,01										
Alimentos	1,22	1,04			2,43	2,08	3,83	3,28	8,92	7,63		
RSU	0,15	0,13										
Materiales	124,97	114,20	0,03	0,04								
RCD	0,26	0,24										
Ocupación directa											0,17	0,14
HE parcial (hag)	155,68	142,07	0,03	0,04	2,43	2,08	3,83	3,28	8,92	7,63	0,17	0,14
HE parcial (hag/ m²)	0,035	0,043	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,00004	0,00004
PB+03: HE Total (hag)	171,07											
PB+03: HE Total (hag/m²)	0,0385											
PB+02: HE Total (hag)	155,24											
PB+02: HE Total (hag/ m²)	0,0466											

Tabla 7.32. HE parciales y total de las actuaciones de recuperación (CASO 3 (PB+03 y PB+02))

En este supuesto los daños sobre el edificio están menos centrados en los elementos estructurales y de cimentación, encontrándose repartidos de manera más heterogénea por todo los elementos del edificio (Tabla 6.5), traduciéndose esta heterogeneidad también en los resultados tanto económicos como ambientales obtenidos para los diferentes capítulos. En la tabla 7.33 aparece el capítulo de instalaciones como el más significativo económicamente en ambas tipologías 100,38 €/m². A pesar de contar este caso con un daño patológico inferior que los anteriores, en ambas tipologías (PB+03 y PB+02) es el capítulo de cimentación el que se muestra como el más representativo en cuanto al impacto ambiental con 0.010 hag/m² y el 0.014 hag/m² respectivamente (Fig. 7.13). Esto se debe al elevado consumo de cemento que se requiere durante el proceso de ejecución del recalce de cimentación, material que como se desprende del análisis pormenorizado realizado sobre el edificio RENFE el que presenta el mayor impacto.

CAPÍTULOS	PB+03		PB+02	
	PEM (€)	HE (hag)	PEM (€)	HE (hag)
HE fósil recursos básicos (materiales, mano de obra y maquinaria)				
03. CIMENTACIONES	141.526,53	45,94	148.601,30	48,28
04. SANEAMIENTO	47.816,35	3,39	56.043,38	3,79
05. ESTRUCTURAS	35.486,15	2,78	28.331,39	2,21
06. ALBAÑILERÍA	347.941,75	30,64	264.988,54	23,82
07. CUBIERTAS	98.852,08	30,87	99.623,32	31,26
08. INSTALACIONES	445.728,00	29,88	334.292,48	22,67
11. CARPINTERÍA Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD	134.248,02	8,47	108.429,95	6,80
ACCESIBILIDAD	11.075,92	1,28	9.156,10	0,98
17. GESTIÓN DE RESIDUOS	21.808,54	0,86	20.017,01	0,75
Total HE fósil recursos básicos		154,11		140,56
Σ HE fósil				
RCD, electricidad y agua		1,58		1,51
Σ resto de HE parciales				
Bosques, pastos, mar, cultivos y sup. consumida		15,38		13,18
TOTAL RECUPERACIÓN	1.284.483,34	171,07	1.069.483,4	155,24

Tabla 7.33. Comparativa económica y ambiental por capítulos (CASO 4 (PB+03 y PB+02))

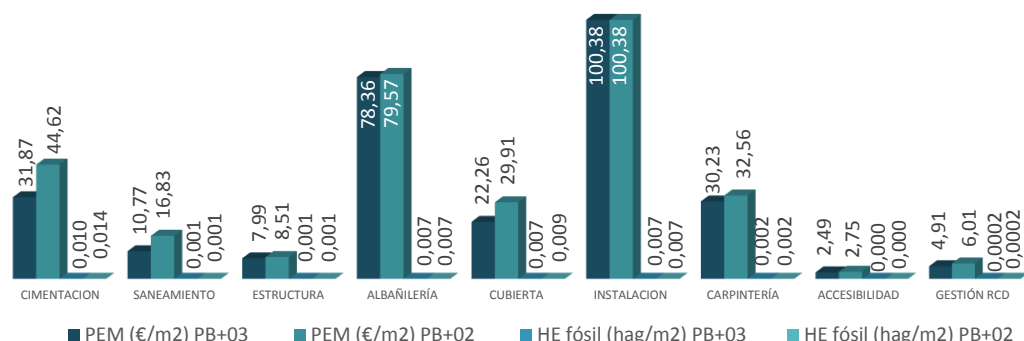


Figura 7.13. Comparativa porcentual de los impactos económicos y ambientales por capítulos (CASO 4 (PB+03 y PB+02))

Al presentar este caso de estudio un estado con menor grado de afectación patológica, en ambas tipologías (PB+03 y PB+02) muestra un menor impacto económico en la opción de recuperación del edificio. En la figura 7.14 se observa como en ambas tipologías, partiendo como base de la comparativa de los resultados de nueva construcción, aparece la opción de la recuperación como la más ventajosa, por encontrarse el PEM de la recuperación un 71,35% por debajo en el caso de la tipología PB+03 y un 63,25% también por debajo en el caso de la PB+02, siendo también muy acusada la variación porcentual del impacto ambiental ocasionado en ambos procesos destacando la recuperación como el proceso con menor impacto ambiental en ambas tipologías (PB+03 y PB+02), con una HE un 73,01% y un 70,27% inferior respectivamente.

COMPARATIVA ENTRE PROCESOS	PB+03			PB+02		
	PEM (€)	HE total (hag)	HE total (hag/m²)	PEM (€)	HE total (hag)	HE total (hag/m²)
Recuperación	1.408.307,53	171,07	0,039	1.172.581,67	155,24	0,047
Demolición	108.296,97	7,69	0,002	68.728,250	5,952	0,002
Nueva construcción	2.304.825,8	626,11	0,141	1.845.460,8	516,200	0,155
Demolición + Nueva Construcción	2.413.122,83	633,80	0,143	1.914.189,12	522,15	0,157

Tabla 7.34. Comparativa económica y ambiental recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 4 (PB+03 y PB+02))

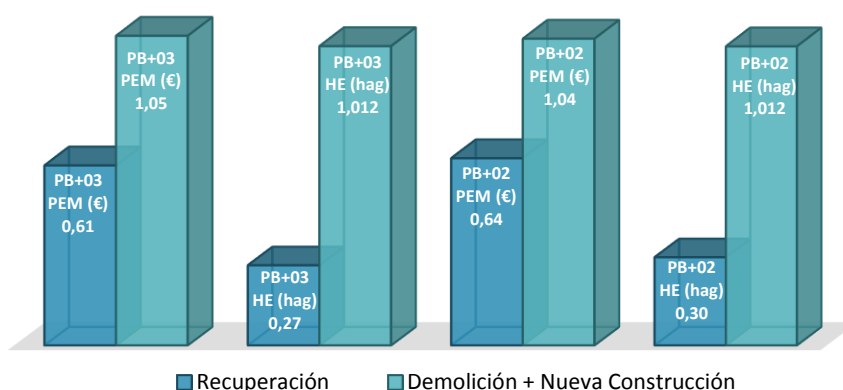


Figura 7.14. Comparativa porcentual económica y ambiental (HE total) recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 4 (PB+03 v PB+02))

CASO 5: estado patológico gravedad media-baja

Los materiales entre la HE fósil y la HE bosques representan el 88,25% y 77,58% de la HE total (PB+03 y PB+02 respectivamente), seguido del impacto producido por los alimentos derivados de la manutención de la mano de obra con el 6,31% y el 5,12% respectivamente y el impacto de la maquinaria combustible con el 5,80% y 4,80% de la HE total.

HUELLA TOTAL RECUPERACIÓN												
Impactos	Huellas parciales (hag)											
	Energía		Bosques		Pastos		Mar		Cultivos		Superficie consumida	
	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02	PB+03	PB+02
Combustible	16,60	13,73										
Electricidad	1,25	1,13										
Agua	0,01	0,01										
Alimentos	1,34	1,09			2,68	2,17	4,22	3,42	9,83	7,97		
RSU	0,17	0,14										
Materiales	87,94	77,27	0,31	0,32								
RCD	0,23	0,20										
Ocupación directa											0,19	0,16
HE parcial (hag)	107,54	93,56	0,31	0,32	2,68	2,17	4,22	3,42	9,83	7,97	0,19	0,16
HE parcial (hag/ m²)	0,024	0,028	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,00004	0,00005
PB+03: HE Total (hag)	124,77											
PB+03: HE Total (hag/m²)	0,0281											
PB+02: HE Total (hag)	107,60											
PB+02: HE Total (hag/ m²)	0,0323											

Tabla 7.35. HE parciales y total de las actuaciones de recuperación (CASO 3 (PB+03 y PB+02))

En este supuesto al igual que en el anterior, los daños se encuentran repartidos heterogéneamente en todos los capítulos, tanto en los resultados económicos como ambientales. En ambas tipologías (PB+03 y PB+02) es el capítulo de albañilería el que se muestra como el más representativo en cuanto al impacto ambiental (Tabla 7.36). El capítulo de instalaciones aparece como el más significativo económicamente en ambas

tipologías (95,72 €/m²). A pesar de no realizarse la implantación de nuevas instalaciones de climatización y calentadores (Tabla 6.3), si se realiza la sustitución/reposición de todas las instalaciones del edificio (electricidad y fontanería) por encontrarse desfasadas, lo que repercute en el presupuesto.

CAPÍTULOS	PB+03		PB+02	
	PEM (€)	HE (hag)	PEM (€)	HE (hag)
HE fósil recursos básicos (materiales, mano de obra y maquinaria)				
03. CIMENTACIONES	70.763,27	22,97	74.300,65	24,10
04. SANEAMIENTO	29.200,49	3,26	29.225,52	3,13
05. ESTRUCTURAS	70.972,30	5,08	56.662,78	4,14
06. ALBAÑILERÍA	330.496,23	30,90	251.782,77	23,70
07. CUBIERTAS	62.959,31	9,62	63.501,39	9,70
08. INSTALACIONES	425.040,93	20,77	318.777,35	15,69
11. CARPINTERÍA Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD	146.280,40	7,86	118.655,20	6,32
ACCESIBILIDAD	62.806,34	4,90	62.806,34	4,84
17. GESTIÓN DE RESIDUOS	19.382,65	0,69	17.013,77	0,60
Total HE fósil recursos básicos		106,05		92,22
Σ HE fósil				
RCD, electricidad y agua		1,49		1,34
Σ resto de HE parciales				
Bosques, pastos, mar, cultivos y sup. consumida		17,23		14,03
TOTAL RECUPERACIÓN	1.217.901,91	124,77	992.725,75	107,59

Tabla 7.36. Comparativa económica y ambiental por capítulos (CASO 5 (PB+03 y PB+02))

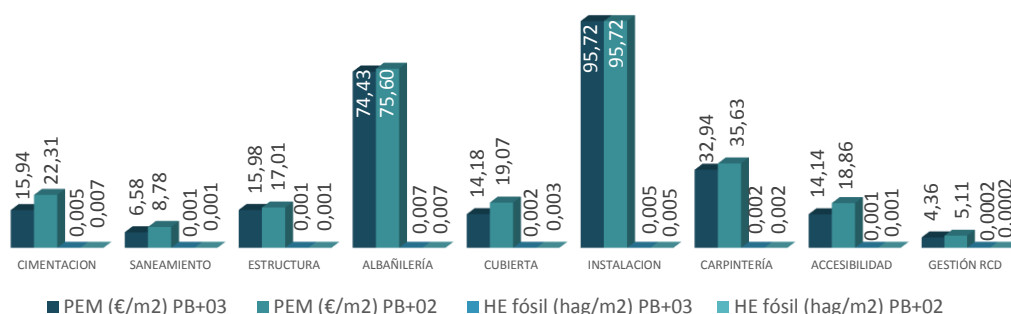


Figura 7.15. Comparativa porcentual de los impactos económicos y ambientales por capítulos (CASO 5 (PB+03 y PB+02))

Partiendo como base de la comparativa de los resultados de nueva construcción, en la figura 7.16 se destaca tanto en el aspecto económico como el ambiental la opción de la recuperación como la más ventajosa, por encontrarse el PEM de la recuperación un 75,46% por debajo en el caso de la tipología PB+03 y un 77,71% también por debajo en el caso de la PB+02, siendo también muy acusada la variación porcentual del impacto ambiental ocasionado en ambos procesos en ambas tipologías (PB+03 y PB+02), con una HE un 78,51% y un 77,05% inferior respectivamente.

COMPARATIVA ENTRE PROCESOS	PB+03			PB+02		
	PEM (€)	HE total	HE total	PEM (€)	HE total	HE total
Recuperación	1.335.307,66	124,77	0,028	1.088.424,52	107,60	0,032
Demolición	108.296,97	7,69	0,002	68.728,250	5,952	0,002
Nueva construcción	2.234.664,68	572,82	0,129	1.789.283,21	462,920	0,139
Demolición + Nueva Construcción	2.342.961,65	580,51	0,131	1.858.011,47	468,87	0,141

Tabla 7.37. Comparativa económica y ambiental recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 5 (PB+03 y PB+02))

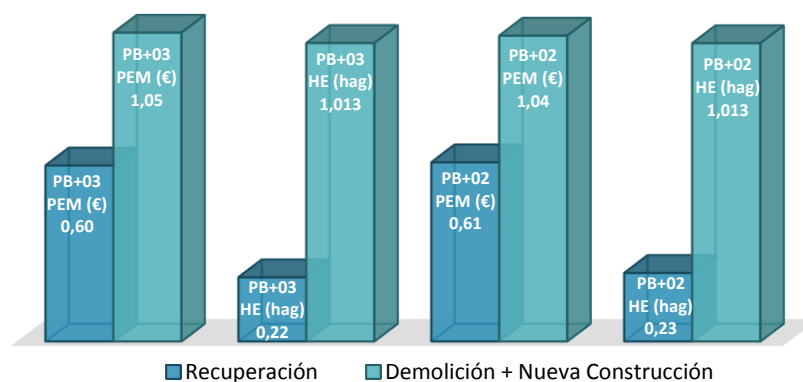


Figura 7.16. Comparativa porcentual económica y ambiental (HE total) recuperación vs demolición / nueva construcción (CASO 5 (PB+03 y PB+02))

Comparativa entre casuísticas

El análisis de sensibilidad del modelo concluye con la comparativa que da respuesta al objetivo que define el modelo de evaluación de la viabilidad, relacionando los resultados tanto económicos como ambientales referidos a la recuperación del edificio con la alternativa de demolerlo y construirlo de nuevo. Para ello se relacionan los cinco casos analizados en dos gráficas, una primera que permite evaluar comparativamente el impacto económico y otra que muestra los resultados ambientales de toda la casuística analizada.

En la figura 7.17 se aprecia como económicamente, en los dos primeros casos, los más afectados patológicamente, la alternativa de la demolición se presenta como la más ventajosa en ambas tipologías constructivas (PB+03 y PB+02), sin embargo, en el caso 3, cuyo grado de afectación patológica tiene un nivel intermedio (Tabla 6.4), puede apreciarse como la comparativa entre ambos procesos, además de estar mucho más igualada también difiere en la alternativa resultante como la más ventajosa, ya que en el caso de edificio de PB+03 muestra un coste económico inferior la opción de recuperación (2.32% inferior), mientras que en la edificación de PB+02 es la opción de demolición la presenta en presupuesto más reducido (1.46% inferior). Este resultado nos ha permitido comprobar la sensibilidad del modelo ante cambios en la tipología edificatoria, concretamente en la variación en el número de plantas.

En los casos 4 y 5 afectación patológica combina grados de elevada intervención en muchos de los elementos del edificio con grados de intervención de media a leve en otros (Tablas 6.5 y 6.6), por lo que puede definirse el nivel patológico del edificio de afectación media. Los resultados muestran para ambos casos y ambas tipología, con una diferencia significativa, como alternativa la recuperación del edificio,

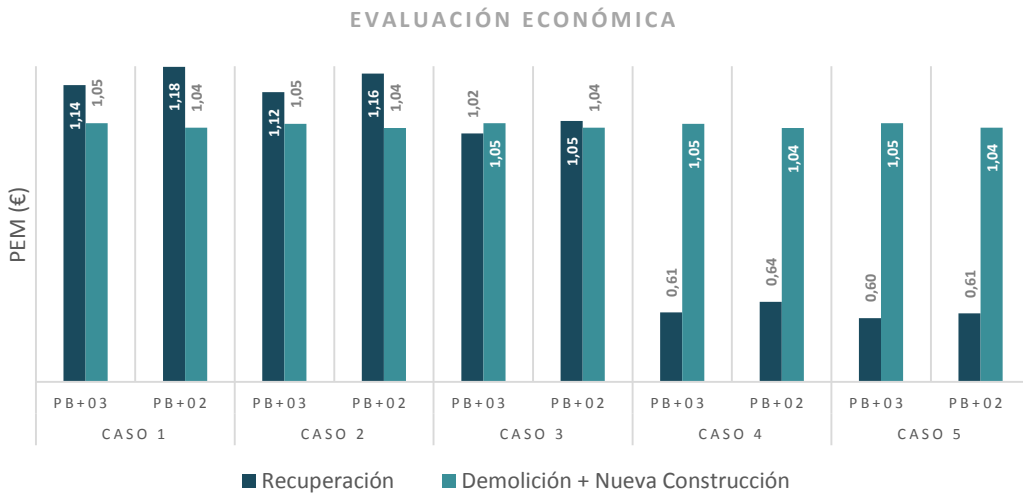


Figura 7.17. Comparativa del impacto económica de los cinco casos analizados

El análisis del impacto ambiental (Fig. 7.18), a diferencia que el análisis económico, no sufre variaciones de alternativas entre casuísticas, ya que aparece en todos los casos la opción de la recuperación como la más ventajosa por ocasionar menor impacto en el medio, incluso en aquellos cuyo estado patológico es más grave. Se aprecia cómo se incrementa la diferencia de HE en la recuperación en los casos de mayor afectación en comparación con los casos más leves, pero sigue siendo inferior en todos los casos en comparación con la HE que genera la demolición y la nueva construcción.

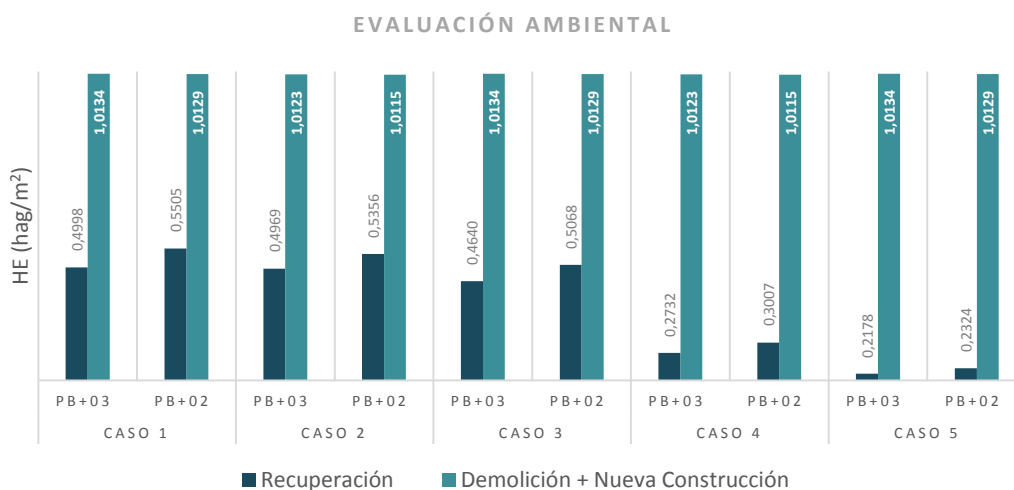


Figura 7.18. Comparativa del impacto ambiental de los cinco casos analizados

También puede apreciarse la sensibilidad del modelo al cambio de soluciones constructivas ya que los casos 2 y 4 presentan cubierta inclinada en lugar de horizontal, y esta modificación en el elemento constructivo se aprecia de manera más evidente en los resultado de HE para el proceso de demolición y nueva construcción, donde en los casos mencionados presenta una HE de 0,0123 hag/m² para PB+03 y 0,0115 hag/m² para PB+02, mientras que el resto de los casos (1, 3 y 5) la HE es de 0,0134 hag/m² en PB+03 y 0,0129 hag/m² en PB+02

Etapa 3: Resultados de validación y conclusiones

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Con la exposición de las conclusiones se cierra la presente etapa de la tesis, estas se desarrollan a partir de los resultados obtenidos y de los objetivos principales y secundarios planteados al comienzo de la investigación.

La consecución de los objetivos parciales que se plantean como imprescindibles para lograr alcanzar el objetivo principal se cumplen en el desarrollo de la investigación, a continuación se desglosa cada uno de ellos:

- En la primera fase se define como objetivo realizar un detallado análisis del estado actual de las edificaciones en materia de recuperación, se logra la identificación de la tipología edificatoria más representativa de la ciudad de Sevilla.
- El segundo de los objetivos engloba uno de los retos primordiales planteados en la investigación, realizar un análisis integral de los costes económicos y ambientales de la recuperación de edificios. Este objetivo se consigue a través del empleo de la clasificación sistemática del BCCA, ampliamente contrastada y desarrollada durante los últimos 30 años, por lo que cualquier técnico familiarizado con las bases de costes puede entender y aplicar fácilmente la metodología propuesta.

Con la consecución de este objetivo se aplica por primera vez la evaluación de la HE en la recuperación de viviendas, a través del desarrollo de un modelo robusto y replicable que permite la toma de decisiones desde una doble vertiente económica y ecológica.

- De la aplicación del modelo sobre los estudios de casos, objetivo planteado en la tercera fase de la investigación, se extraen una serie de resultados que permiten validar el funcionamiento del modelo de evaluación desarrollado. Estos resultados permiten una imagen global de la recuperación, desde los puntos de vista económico y ambiental, desglosados éstos a su vez en capítulos del presupuesto del proyecto.

A partir de dicha evaluación por capítulos de las intervenciones propuestas, es posible definir estrategias destinadas a disminuir el impacto económico y ambiental diferenciado por actividades, pudiendo analizarse desde cambios de materiales, ya sea para sustituirlo por materiales que generen un menor impacto ambiental o incluso permite analizar las soluciones constructivas para plantear mejora energética de la fachada o cubiertas del edificio, incorporación de instalaciones de climatización más eficientes, entre otras muchas posibilidades.

- El último de los objetivos parciales planteados pretendían analizar la sensibilidad del modelo a través de su aplicación a una muestra de edificios con diferencia en sus soluciones constructivas así como en la gravedad o niveles patológicos. De los resultados obtenidos de dicho análisis puede concluirse que el modelo es sensible a cambios en soluciones constructivas e intensidad de las patologías o nivel de daños.

Tras analizar los objetivos parciales contenidos en el objetivo principal de la tesis: *diseñar e implementar un modelo de evaluación que permita analizar técnica, económica y ambientalmente la viabilidad de la recuperación del edificio*, puede concluirse que se logra el desarrollo de un modelo capaz de analizar desde dicha perspectiva integral la viabilidad de la recuperación del edificio. Su apoyo en metodologías ampliamente contrastadas como son el método de clasificación sistemática del BCCA, así como en la metodología HE, han permitido que el modelo de evaluación de la viabilidad desarrollado sea robusto, de aplicación sencilla y esquemática, pudiendo someterse a revisiones y/o actualizaciones de los distintos coeficientes que intervienen en su cálculo, al contar con fuentes de datos abiertas y contrastadas internacionalmente.

Etapa 4: Futuras investigaciones, glosario y referencias

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Los desarrollos futuros se evalúan desde dos vertientes, las ampliaciones a las que puede ser sometido el modelo de evaluación de la viabilidad de la recuperación de edificios, y desde un punto de vista más abierto, se prevé la incorporación del modelo de evaluación a la metodología de análisis del ciclo de vida completo del edificio.

La primera de las vertientes va encaminada a ampliar el ámbito de aplicación del modelo de evaluación desarrollado, ya que originariamente sólo estudia edificios residenciales, sin embargo la metodología desarrollada es extrapolable a otras tipologías ya que se basa en el presupuesto de recuperación dividido en recursos: materiales, maquinaria y mano de obra. Estos últimos con su correspondiente estructura de cálculo de huella independiente.

Otra de las ampliaciones consiste en incorporar otras patologías, sistemas constructivos y/o materiales, para el futuro desarrollo del modelo, ya que la principal dificultad de la presente investigación radica en que la recuperación de edificios es siempre un caso único, en función del año de construcción, los sistemas constructivos empleados y las patologías en el momento de la intervención. Por ello, durante el desarrollo metodológico, ha sido necesario realizar un trabajo de síntesis en el que se recogen las patologías más comunes en los edificios de viviendas según los casos estudiados; y se proponen para cada una de ellas varias soluciones de reparación, variando sistemas constructivos y/o materiales. Esta ampliación es posible y de fácil integración con la base de datos desarrollada gracias al empleo de la clasificación sistemática del Banco de Costes de la Construcción de Andalucía.

Del mismo modo, otro aspecto a analizar en trabajos futuros, es la incorporación de instalaciones de energías renovables o de tratamiento de aguas residuales, lo que es fundamental para disminuir la huella en el ciclo de vida de los edificios.

Con la unión del nuevo modelo de evaluación de viabilidad económico y ambiental de la recuperación de edificios (VEARE) y la funcionalidad de programas de procesamiento geoespacial SIG, se pretende la generación de diagnósticos geolocalizados, siempre desde la perspectiva integral (análisis técnico, económico y ambiental), que permitan la identificación de barrios de actuación prioritaria en la ciudad para ayudar a establecer políticas que fomenten la recuperación de barrios o zonas degradadas.

Desde el punto de vista de la incorporación del modelo de evaluación a la metodología de análisis del ciclo de vida del edificio, es necesario recordar que la presente tesis se desarrolla en el seno del grupo de investigación Arditec. Esta ampliación del modelo del indicador HE para ser aplicado el ciclo de vida completo del edificio es posible gracias a la capacidad de reproducción del modelo en las diferentes fases, ya abordadas por los investigadores del grupo: desde la fase de transformación de uso del suelo (urbanización) (Freire y Marrero, 2015), la fase de construcción del edificio (González-Vallejo, 2015), uso y mantenimiento, (Martínez-Rocamora et al. 2016b) y finalmente su recuperación o demolición desarrollada en la presente tesis. El objetivo final pretende que partiendo del proyecto y presupuesto de nueva planta, sea posible predecir el impacto del ciclo de vida

en términos de HE que tendrán todas las decisiones tomadas desde el diseño, para que puedan incorporarse criterios de sostenibilidad a la toma de decisiones, de forma sencilla desde una perspectiva de “presupuesto ambiental”, encaminadas a disminuir el impacto en el sector edificatorio.

Complementando esta ampliación, desde el grupo de investigación se trabajará en combinar el indicador HE con otros como son la huella de carbono y la huella hídrica en el ciclo de vida de los edificios, teniendo en cuenta todos los aspectos que de forma simplificada se pueden valorar desde la perspectiva del presupuesto y la clasificación sistemática. A largo plazo se pretende la creación un indicador ambiental diferenciador y abierto, que permita comparar las decisiones tomadas desde la etapa de diseño de los edificios.

Etapa 4: Futuras investigaciones, glosario y referencias

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Abreviaturas

GLOSARIO DE TÉRMINOS

CE3: herramienta informática promovida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación de eficiencia energética edificios existentes.

Cuaternario: dicho de un periodo geológico, segundo de la era cenozoica, que abarca desde hace dos millones de años hasta la actualidad, caracterizado por la aparición del hombre y la alternancia de periodos glaciales y templados. (RAE)

EPDM: (etileno-propileno dieno monómero (clase M según su clasificación en la norma ASTM D-1418) de goma), es un tipo de caucho sintético, concretamente un elastómero que se caracteriza por gran variedad de aplicaciones. En construcción es empleado en la impermeabilización de cubiertas (fabricado en láminas)

Forjado autárquico: tipo de forjado cerámico de pequeño espesor, surgido en el periodo de la postguerra civil española (años 40 y 50) a causa de la escasez de material. Este tipo de forjados optimiza el uso del acero, empleándose exclusivamente donde son necesarios para soportar las tracciones, compuesto por viguetas pretensadas, entrevigado de bovedillas cerámicas y un pequeño vertido de hormigón (sin capa de compresión).

Multisplit: un aparato de aire acondicionado multisplit es una variante del aire acondicionado split que en vez de constar de dos unidades, una interior (con evaporador, ventilador, filtro de aire y sistema de control) y otra exterior (con compresor y condensador) comunicadas mediante tubos, como en los tipo split, tienen una unidad exterior y de 2 a 5 unidades interiores.

Sistema "inverter": sistema que puede regular el voltaje, la corriente y la frecuencia de un dispositivo eléctrico o electrónico, de modo que es un circuito convertidor de energía. Si aplicamos este concepto al contexto de la climatización, los aires acondicionados "invertir" como tienen un compresor adaptable que puede cambiar su potencia y velocidad según la temperatura de la habitación, únicamente consumen la energía que necesitan.

Abreviaturas

BCCA: banco de costes de la construcción de Andalucía

BCCR: banco de costes de recuperación

BCRR: banco de cuantificación de recursos

BI: beneficio industrial

CDE: costes directos de ejecución

CIE: costes indirectos de ejecución

CIG: costes indirectos generales

EPS: poliestireno expandido

FR: factor de repercusión del precio

HE: huella ecológica

IC: importe de contrata

IEM: importe de ejecución material

PA: precio auxiliar

PB: precio básico

PSU: precio de suministro

PU: precio unitario

PUA: precio unitario auxiliar

PUC: precio unitario complejo

PUCD: precio unitario complejo descompuesto

PUF: precio unitario funcional

PUS: precio unitario simple

Q_i: media de las mediciones de los 94 proyectos de vivienda social analizados

Q_M: cantidad de elementos básicos por módulo de medición del precio correspondiente

Q_{PUC} : cantidades de recursos básicos en el PUC, expresado en la unidad de medida correspondiente

Q_{PUS} : cantidades de recursos básicos en el PUS, expresado en la unidad de medida correspondiente

Q_u : cantidad de elementos básicos que constituyen los PA y PB

RC: resumen de capítulos

RCD: residuos de construcción y demolición

RPT: rotura de puente térmico

RSU: residuos sólidos urbanos

SCIC: sistema de clasificación de la información de construcción

SIG: sistema de información geoespacial

XPS: poliestireno extruido

Etapa 4: Futuras investigaciones, glosario y referencias

REFERENCIAS

REFERENCIAS

Alba-Rodríguez, M^a Desirée, Marrero Meléndez, Madelyn y Solís-Guzmán Jaime (2013) "Economic and Environmental Viability of Building Recovery in Seville (Spain). Phase 1: Database in Argis". Cathedra Chair of Housing Environmental. Faculty of Architecture Cracow University of Technology. Vol. 11/2013, 297-302.. ISSN: 1731-2442.

Almasi, A.M., Milios, L., 2013. *Municipal waste management in Spain*.

Aragon Fiterra, Jorge (2010). *Análisis estadístico de la patología de forjados de hormigón armado en la edificación gallega*. Director: Dr. Juan B, Pérez Valcárcel. Universidad de La Coruña. Dpto. Tecnología de la Construcción.

Araiza Garaygordóbil, G (2005). "Reparación y refuerzo de paredes de obra de fábrica. Estudio experimental de la respuesta ante tensiones de corte" tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña.

Bare, J. Hofstetter, P. Pennington, D. Udo de Haes, H. (2000). *Life cycle impact assessment workshop summary. Midpoints versus endpoints: the sacrifices and benefits*. Int. J. Life Cycle Assess., vol. 5 (6), pp. 319-326, 2000.

Barrios Sevilla, Jesús (1994). *Patología en fábricas de ladrillo*. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I.

Bastianoni, S. Galli, A. Pulselli, RM. Niccolucci, V (2007). *Environmental and Economic Evaluation of Natural Capital Appropriation through Building Construction: Practical Case Study in the Italian Context*. AMBIO: A Journal of the Human Environment 36(7):559-565.

BCCA, S. L. (2014). *Memoria Base de Costes de la Construcción de Andalucía*. Sevilla.

Bin G, Parker P (2012). *Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House*. Applied Energy 93:24-32.

Bullen P, Love P (2010) *The rhetoric of adaptive reuse or reality of demolition: Views from the field*. Cities 27:215-224

Catálogo de Elementos Constructivas del Código Técnico de la Edificación (CEC). Documento Básico de Seguridad Estructural del Código Técnico.

Chapman TJP, Butcher A, Fernie R (2003) *A generalized strategy for reuse of old foundations*. XIII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 1, pp. 613-618, ISSMGE, Praga

Chapman TJP, Chow FC, Skinner H (2002) *Building on old foundations – Sustainable construction for urban regeneration*. CE-World Conference, ASCE online conference

Chapman TJP, March B, Foster A (2001) *Foundations for the future*. Institute of Civil Engineering, February 2001, Vol. 144(1), 36-41

Cortes José. Joaquín; García Jaen. Josefa; Zoido Naranjo. Florencio. *Planos de sevilla. Colección histórica (1771-1918)*. Servicio de Publicaciones del Ayto. de Sevilla. Sevilla 1992.

Cuervo Menéndez, Lino. Ferreres Gómez. Tomás (2009). *Prevención de humedades*. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Tarragona.

Da casa, F., Echeverría, E. & Celis, F (2005). *Tratamiento perimetral con inyecciones armadas para excavación para parking subterráneo en Sevilla*. Libro de actas de las "2ª Jornadas Luso- Espanholas de Geotecnia. Ed. Sociedad Portuguesa de Geotecnia. Lisboa, Portugal.

Da casa, Fernando; Echevarria, Ernesto; Celis, Flavio (2007). *La intervención bajo rasante, la importancia de su conocimiento. La técnica de la inyección armada*. Informes de la Construcción. Vol 59, nº 505. pg: 21-35.

Da casa, Fernando; Echevarria, Ernesto; Celis, Flavio (2012). *El movimiento en la ejecución de recalces con inyección armada. Análisis de tres casos con movimientos previos*. Informes de la Construcción. Vol 64, nº 528. pg: 507-518.

De Luis Roldan, Elena. "La tipología de las viviendas ferroviarias: una aproximación". 3º Congreso de historia ferroviaria .Fundación de los ferrocarriles españoles. Gijón 2003.

Denhez M (2007) *Reusing cities: we have reuse policies for beer bottles, so why not for buildings, neighbourhoods and entire cities?* Alternatives Journal 33(2-3)

Domench Quesada, JL (2010). *Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible*. AENOR. Madrid, España

Ecoinvent Centre, *Ecoinvent database*, (2015). <http://www.ecoinvent.org/database/>.

ELABORA "Informe geotécnico. Escuela de Enfermería y Ciencias de la Salud. C/Abulcasis. Sevilla". 10 de agosto de 2010. (2010 a).

ELABORA "Reconocimiento de elementos de cimentación y estructura del edificio de viviendas en calle Abulcasis". 19 de agosto de 2010. (2010 b).

EMASESA (Empresa Metropolitana de Abastecimiento y Saneamiento de Aguas de Sevilla, S.A) (2012). *Reglamento del suministro domiciliario de agua*. Decreto 120/91, de 11 de Junio: modificado por Decreto 327/2012, de 10 de julio, por el que se modifican diversos Decretos para su adaptación a la normativa estatal de transposición de la Directiva de Servicios (BOJA 137 de 13 de julio de 2012).

EMASESA, Sostenibilidad y Gestión (2005). *Éramos así, así somos (1975-2005)*.

European Commission (2003). *Integrated Policy Product. Development of the Environmental Life Cycle Concept*. COM, Brussels, Belgium.

Ewing, B., Moore, D., Goldfinger, S., Oursler, A., Reed, A., Wackernagel, M. (2010) *The Ecological Footprint Atlas 2010*. Oakland, Global Footprint Network.

http://www.footprintnetwork.org/images/uploads/Ecological_Footprint_Atlas_2010.pdf(acceso 01.12.13)

F. Herbst, Thomas (2007). *Historical Review and Analysis of 55 Years of Micropiles*. 8th International Workshop on Micropiles. Proceedings. Toronto.

Ferreira Sánchez, A. Alba Rodríguez, M.^a D. Ramírez-de-Arellano, A. Marrero, M. (2016). *Recalce en condiciones de emergencia: 40 viviendas cercanas al río Guadalquivir, España*. Informes de la Construcción, Vol. 68, 541, e133, enero-marzo 2016. ISSN-L: 0020-0883.

Ferreira, A., (2016). *“Recuperación de viviendas en condiciones de emergencia. Estudio de caso: viviendas RENFE (sevilla)”*, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.

Ferrer Morales, Ascención (2007). *La cerámica arquitectónica, su conservación y restauración*. Secretariado de publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Finnveden, G. Hauschild, M. Ekvall, T. Guinée, J. Heijungs, R. Hellweg, S. Koehler, A. Pennington, D. Suh, S. (2009). *Recent developments in life cycle assessment*. J. Environ. Manage., vol. 91, pp. 1-21.

Freire Guerrero, Antonio, Marrero Meléndez, Madelyn. (2015). *Evaluación a través del presupuesto de la energía incorporada al proyecto de edificación*. En: Hábitat Sustentable. 2015. Vol. 5. Núm. 1. Pag. 54-63

Freire, A, Marrero Meléndez, Madelyn (2014) *Analysis of the ecological footprint produced by machinery in construction*. Comunicación en congreso World Sustainable Building 14. Barcelona, España.

Freire Guerrero, Antonio, Marrero Meléndez, Madelyn, Solís Guzmán, Jaime (2014) *Estudio de la Huella Ecológica de la Transformación del Uso del Suelo*. En: Seguridad y Medioambiente. Fundación Mapfre. Vol. 20000. Núm. 136. Pag. 6-14. <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n136/es/articulo1.html>

Galli, A. Wiedmann, T. Ercin, E. Knoblauch, D. Ewing. B. Giljum, S. (2012). *Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet*. Ecol.Ind., vol 16, pp. 100-112.

García Vázquez, C (2015). *La obsolescencia de las tipologías de vivienda de los polígonos residenciales construidos entre 1950 y 1976. Desajustes con la realidad sociocultural contemporánea*. Informes de la Construcción. Vol. 67, EXTRA-1. ISSN-L: 0020-0883

Goldstein BP, Herbol M, Figueroa MJ (2013) *Gaps in tools assessing the energy implications of renovation versus rebuilding decisions*. Current Opinion in Environmental Sustainability 5:244-250

González Vallejo, P., Marrero Meléndez, M., Solís Guzmán, J. (2014.) *Evaluation of the Ecological Footprint of residential buildings in terms of its construction typology*. Comunicación en congreso. World Sustainable Buildings Barcelona 2014. Barcelona.

González Vallejo, Patricia (2013) “Evaluación de la huella ecológica de la edificación en el sector residencial en España” Trabajo Fin de Máster. Universidad de Sevilla.

González Vallejo, Patricia (2016) “Evaluación de la huella ecológica de la edificación en el sector residencial. Aplicación en España, Méjico y Chile” Tesis doctoral en desarrollo. Universidad de Sevilla.

González-Vallejo, P., Marrero, M., Solís-Guzmán, J. (2015a) *The ecological footprint of dwelling construction in Spain*. Ecological Indicators, 52, pp. 75-84.

González-Vallejo, P., Solís-Guzmán, J., Llácer, R., & Marrero, M. (2015b). *La construcción de edificios residenciales en España en el período 2007-2010 y su impacto según el indicador Huella Ecológica*. Informes de la Construcción, 67(539): e111 doi: 10.3989/ic.14.017Ireland D (2008) *New Tricks with Old Bricks*. The Empty Homes Agency, London

González-Vallejo, P., Morales, M., Solís-Guzmán, J., Llácer, R., Marrero, M. (2013) *Evaluation of the Ecological Footprint of the Construction in the Residential Sector*. International Congress on Energy and Environment Engineering and Management, Lisbon, Portugal.

Gram-Hanssen K (2014) *Retrofitting owner-occupied housing: Remember the people*. Building Research and Information 42(4):393-397

Herva, M. Franco, A. Ferreiro, S. Álvarez A. Roca, E. (2008). *An approach for the application of the ecological footprint as environmental indicator in the textile sector*. J.Hazard.Mater., vol. 156, pp. 478–487.

International Organization for Standardization, ISO 12006-2:2015 (2001). *Building construction -- Organization of information about construction works -- Part 2: Framework for classification*

Ireland D (2008) *New Tricks with Old Bricks*. The Empty Homes Agency, London

Itard L, Klunder G (2007) *Comparing environmental impacts of renovated housing stock with new construction*. Building Research & Information 35(3):252-267

ITEC (2016) Institut Tecnològic de Edificació de Catalunya, ITEC. Metabase-TCQ 2000: Datos Ambientales. Barcelona, España. ITEC. <http://www.itec.es/programas/tcq/> (consultada 26/03/2016).

Jiménez Herrero, L.M. (2000). *Desarrollo sostenible: transición hacia la coevolución global*. Editorial Pirámide. Colección Empresa y gestión. ISBN 8436813553, 9788436813555

Johnston D, Lowe R, Bell M (2005). *An exploration of the technical feasibility of achieving CO2 emission reductions in excess of 60% within the UK housing stock by the year 2050*. Energy Policy 33(13),1643–1659

Judson EP, Maller C (2014) *Housing renovations and energy efficiency: Insights from homeowners practices*. Building Research and Information 42(4):501-511

- Kohler N, Hassler U (2002) *The building stock as a research object*. Building Research & Information 30(4):226-236
- Laefer DF, Manke JP (2008) *Building Reuse Assessment for Sustainable Urban Reconstruction*. Journal of Construction Engineering and Management 134(3): 217-227
- Lee H-Y (2012) *Renovation scheduling to minimize user impact of a building that remains in operation*. Automation in Construction 22:398-405
- Li B, Cheng DJ (2010). *Hotel ecological footprint model: Its construction and application*. Chinese Journal of Ecology 29(7):1463-1468.
- M. Borucke, D. Moore, G. Cranston, K. Gracey, K. Iha, J. Larson, et al. (2013), Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework, Ecol. Indic. 24, 518–533. doi:10.1016/j.ecolind.2012.08.005.
- Madelyn Marrero, Jaime Solís-Guzmán, Borja Molero Alonso, Manuel Osuna-Rodríguez, Antonio Ramírez-de-Arellano (2011) *Demolition Waste Management in Spanish Legislation*, The Open Construction and Building Tech. Vol. 5, 162- 173
- Marrero, M. , Solis-Guzman, J., Molero Alonso, B., Osuna-Rodriguez, M., Ramirez-de-Arellano, A. (2011) *Demolition Waste Management in Spanish Legislation*. The Open Construction & Building Technology Journal, 5: 162-173.
- Marrero, M., Ramirez-de-Arellano, A. (2010) *The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management*, Construction Management and Economics, 28, pp. 495–507.
- Marrero, M., Ramirez-de-Arellano, A. (2010). *The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management*. Construction Management and Economics, 28: 495–507.
- Marrero-Meléndez, M. Solís-Guzmán, J. (2015). *Ecological Footprint Assessment of Building Construction*. Bentham Science Publishers 162. ISBN 978-1-68108-099-4
- Martinaitis V, Rogoza A, Bikmaniene I (2004) *Criterion to evaluate de “twofold benefit” of the renovation of buildings and their elements*. Energy and Buildings 36:3-8
- Martínez-Rocamora, A. Solís-Guzmán, J. Marrero-Meléndez, M. (2016a). *Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks*. Ecological Indicators. Volume 69, October 2016, Pages 66–77.
- Martínez-Rocamora, A. Solís-Guzmán, J. Marrero-Meléndez, M. (2016b). *LCA databases focused on construction materials: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 58. Pag. 565-573. 10.1016/j.rser.2015.12.243.
- Masterformat manual of practice (2014), Alexandria: Construction Specifications Institute/Construction Specifications Canada (CSI/CSC).

Minguito Sarrión, Emilio. "Área de Rehabilitación concertada del Casco Norte de Sevilla" *Aparejadores. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla*. Vol.77 (Abril 2009) pp 22-27.

Ministerio de economía y competitividad. *Mapa Geológico de España 1:50.000* (Serie Magna). Hoja: 984. Instituto Geológico y Minero de España. 2014.

Ministerio de fomento. *Archivo Central. Caja 2144*. Viviendas protegidas 1956.

Mumford K, Power A (2002) *Boom or Abandonment: Resolving Housing Conflicts in Cities*. Chartered Institute of Housing, Coventry

Olgay V (2008). *Greenfoot: A tool for estimating the carbon and ecological footprint of buildings*. *American Solar Energy Society - SOLAR 2008*, Including Proc. of 37th ASES Annual Conf., 33rd National Passive Solar Conf., 3rd Renewable Energy Policy and Marketing Conf.: Catch the Clean Energy Wave 8:5058-5062.

OmniClass (2016). *OmniClass Construction Classification System, OCCS*, <http://www.omniclass.org/> (consultada 18/03/2016).

Orozco Sánchez, Teresa (2015). *Experto en rehabilitación de edificios: Análisis de patologías y reparación*. Antequera, Málaga : IC editorial.

Power A (2008) *Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability?* *Energy Policy* 36:4487-4501

Power A (2010) *Housing and sustainability: demolition or refurbishment?* *Urban Design and Planning* 163:205-216.

Power A, Burdett R (1999) *Towards an urban renaissance. 1st Urban Task Force (UTF)*, Department of the Environment, Transport and the Regions, Wetherby. ISBN 9781851121656

Power A, Houghton J (2007) *Jigsaw cities: big places, small spaces CASE studies on poverty, place, and policy*. Policy, Bristol. ISBN 1861346581

Rakhra AS (1983) *Some economic aspects of the rehabilitation of buildings*. CIB 83, The 9th CIB Congress, Stockholm, Sweden, Renewal, Rehabilitation and Maintenance, Vol. 1a, pp. 77-88

Ramírez de Arellano Agudo, Antonio (1988). *La teoría de sistemas al servicio del análisis de presupuestos de obras*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla.

Ramírez de Arellano, A. (2004). *Aspectos económicos de la recuperación de edificios*. *Secretariado de publicaciones*. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción (IUC).

Ramírez de Arellano, A. (2004). *Presupuestación de obras*. Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Manuales Universitarios

Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.

Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE nº 97 23-04-1997.

Real Decreto 842/ 2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

Rodríguez Bernal, Eduardo. *“El Impacto del Tendido Ferroviario en la Ciudad de Sevilla: la Construcción y el Desmantelamiento del Dogal Ferroviario”*. Ferrocarril y Ciudad. Congreso de Historia Ferroviaria. Aranjuez. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento. 2002. Pag. 205-222.

Rodríguez Ortiz, Jose Maria. *“Intervenciones en cimentación: Técnicas aplicables y patología” en 7ª Sesión. Actuaciones y rehabilitación en construcciones históricas y singulares/Jornadas técnicas SEMSIG-AETESS*. Madrid. 2007. Pg: 27-44.

Romero Durán, Beatriz (2007). *Sistemas para el recalce de cimentaciones superficiales*. Argentina: El Cid Editor - Ingeniería, 2007. ProQuest ebrary. Web. 5 February 2015.

Rubio de Val, J. (2015). *Potencial del nuevo marco normativo para el impulso de la rehabilitación y la regeneración urbana en los ámbitos autonómico y local*. Informes de la Construcción. Vol. 67,EXTRA-1, m023. marzo 2015. ISSN-L: 0020-0883

Ruíz-Pérez, Rocío (2015). *Estudio de costes de la rehabilitación de viviendas*. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Sevilla.

Salas,Nicolás. (2013) *Historia del Real Patronato de las casas baratas de Sevilla*. AVEC Editores.

Samadpour P, Faryadi Sh (2008). *Determination of ecological footprints of dense and high-rise districts, case study of Elahie neighbourhood*, Tehran. Journal of Environmental Studies 34(45):63-72.

Sezer AA (2012) *Environmental assessment tools and efficiency in housing and office refurbishment*. Association of Researchers in Construction Management, ARCOM 2012 - *Proceedings of the 28th Annual Conference* Vol. 2, pp. 1331-1341

Schmidt-Bleek, Friedrich (1994). *How to reach a sustainable Economy?* Wuppertal Institut, Wuppertal Papers Nr.24.

Solís-Guzmán J., Marrero M., Ramírez-de-Arellano A. (2013), *Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)*. *Ecol Ind* 25, 239-249.

Solís-Guzmán, J., (2011). *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la comunidad andaluza*. (Assessing the ecological footprint of the building sector (residential use) in Andalusia), Ph. D. thesis, Universidad de Sevilla, Seville, Spain.

Statistic division of the FAO, FAOSTAT, (2014). <http://faostat3.fao.org/home/E> (accessed December 21, 2014).

Tejedor. J (2015). *Nuevo paradigma normativo sobre la ciudad: Retornando a la ciudad tradicional*. Informes de la Construcción. Vol.67, EXTRA-1, m022. marzo 2015. ISSN-L: 0020-0883

Teng J, Wu X (2014). *Eco-footprint-based life-cycle eco-efficiency assessment of building projects*. *Ecological Indicators* 39:160-168.

Thomsen A, van der Flier K (2009) *Replacement or renovation of dwellings: the relevance of a more sustainable approach*. *Building Research and Information* 37(5-6):649-659

UNE 41805:2009. Diagnóstico de Edificios. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid. 2009.

Uniclass. (2015). Unified classification for the construction industry. London U.K. National Building Specification Service Ltd.

UniFormat™. (2010). *A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies Alexandria, VA*. Construction Specifications Institute.

Van den Bergh, J.C.J.M. Verbruggen, H. (1999). *Spatial sustainability, trade and indicators: an evaluation of the ecological footprint*. *Ecol. Econ.*, vol. 29, pp. 61-72.

Van den Dobbelaere A, Arets M, Van der Linden K (2003) *The factor time in sustainability: integration of the building lifespan in environmental performance and decisions between demolition and re-use, in Proceedings of the 2nd International Symposium 'Integrated Lifetime Engineering of Buildings and Civil Infrastructures'*, RIL & VTT, Helsinki, Finland, pp. 457-462

Verbeek G, Cornelis A (2011) *Renovation versus demolition of old dwellings: Comparative analysis of costs, energy consumption and environmental impact*. *Architecture and Sustainable Development, Proceedings of PLEA 2011*, Louvain-la-Neuve, Belgium (July 2011)

Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., Matson, P.A. (1986). *Human appropriation of the products of photosynthesis*. *Bioscience* 36: 368-373.

Wackernagel, M. Rees, W.E (1996). *Our Ecological footprint, reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers.

Weidema, B.P. Thrane, M. Christensen, P. Schmidt, J. Løkke, S. (2008). *Carbon footprint*. J. Ind. Ecol., vol. 12, pp. 3-6.

WWF. Informe Planeta Vivo. WWF International, Zoological Society of London y Global Footprint Network. Suiza., 2014.

Yates T (2006) *Sustainable Refurbishment of Victorian Housing*. BRE Press, Bracknell

Zavadskas E, Raslanas S, Kaklauskas A (2008) *The selection of effective retrofit scenarios for panel houses in urban neighborhoods based on expected energy savings and increase in market value: The Vilnius case*. Energy and Buildings 40:573-587

Zhao XY, Mao XW, 2013. Comparison environmental impact of the peasant household in han, zang and hui nationality region: Case of zhangye, Gannan and Linxia in Gansu Province. Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica 33(17):5397-5406.

WEB

Google (2012). Foto de satélite del casco histórico de Sevilla. Consulta: diciembre 2014, <https://maps.google.es>

<http://http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/portalweb/web/areas/vivienda/te xto/b28c72fc-4818-11e2-804b-e3c3905d6ca6>. Consulta: 2015

RAE.<http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae#sthash.0hbuxUoP.dpuf>.
Consulta: 18/06/2015

Real Fundación Patronato de la Vivienda de Sevilla <http://www.rfpv.es/>. Consulta: 01/06/2015

Sede Catastral de la Dirección General del Catastro del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas [en línea]. Consulta: 2013. Disponible en: <http://www.sedecatastro.gob.es/>

