

Rehabilitación de edificios bajo objetivos de reducción de impacto ambiental: un caso piloto de vivienda plurifamiliar en el área de Playa de Palma, Mallorca

Refurbishment considering environmental impact reduction targets: a test case for a multiple-family dwelling in the area of Playa de Palma, Mallorca

G. Wadel^(*), F. López^(*), A. Sagrera^(*) y J. Prieto^(**)

RESUMEN

Este artículo resume el estudio *Experiencia piloto para la reducción del impacto ambiental: evaluación y asesoramiento a la rehabilitación sostenible de un edificio de viviendas existente en Playa de Palma* realizado para el Consorci de Platja de Palma. Se explica a través de qué medidas es posible reducir en un 50% o más los impactos ambientales del edificio como producto de su futura rehabilitación y posterior gestión respecto tanto de su situación actual como de los estándares de rehabilitación al uso en edificios de vivienda. Asimismo, se incluye también una aproximación a las reducciones de emisiones de CO₂ que se consiguen en el ciclo de vida del edificio y a los costes previstos para las distintas actuaciones del modelo de rehabilitación que el citado consorcio propone para las operaciones de rehabilitación a llevarse adelante en Playa de Palma.

Palabras clave: impacto ambiental, análisis de ciclo de vida, rehabilitación ambiental, eficiencia energética, emisiones de efecto invernadero.

SUMMARY

This article presents briefly the work Pilot study to reduce environmental impact: evaluation and assessment of a sustainable refurbishment of an existing residential building in Playa de Palma carried out by the Consortium of Palma Beach. It will be explained by how the environmental impacts of the building can be reduced by 50% or more as a result of future refurbishment and subsequent management, referring to both its current situation and refurbishment standards in residential buildings. It also includes an approximated evaluation of the CO₂ emission reduction achieved in the building life cycle and the projected costs for the various actions of the refurbishment model proposed by the Consortium, to be carried out in other renovation operations in Palma Beach.

Keywords: environmental impact, life cycle analysis, environmental refurbishment, energy efficiency, green house emissions.

(*) Societat Orgànica, Barcelona (España)

(**) Arquitectos Urbanistas e Ingenieros Asociados, Madrid (España)

Contacto / Contact: gwadel@societatorganica.com (G. Wadel)

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto del estudio ambiental realizado

Desde 2005 el Consorci de Platja de Palma¹ lleva adelante diversos planes de reconversión y rehabilitación en el área de Playa de Palma (PdP) que se extiende en la costa este de la Bahía de Palma, en Mallorca. Su objetivo es recuperar el tejido social y económico que tuvo este destino turístico al alcanzar su madurez en la década del 80 recuperando su calidad ambiental natural y disminuyendo sensiblemente su huella ecológica, en general, y fijándose las metas de cero emisiones de dióxido de carbono y 100% de energías renovables hacia 2030, en particular.

El área urbana que se propone intervenir mediante operaciones de rehabilitación que reduzcan significativamente sus impactos ambientales se extiende unos 5,5 km según la línea de la costa y posee una profundidad edificada promedio de unos 500 m a partir de la playa. En este tejido predominan dos tipologías edificatorias: la residencial, donde habita una población estable de unas treinta mil personas, y la hotelera, que da alojamiento a un millón y medio de turistas que anualmente visitan Playa de Palma. En el caso de las viviendas el interés estuvo centrado en los edificios plurifamiliares que concentran la mayor parte de la población y para ello se escogió como caso piloto al Bloque 1 del área de Can Pastilla, que es el tema abordado en este artículo. En el caso de los hoteles el interés estuvo centrado en los edificios de tamaño y altura media que representan la mayoría de los establecimientos de la zona y para ello se escogió como caso piloto al Hotel Royal Cupido del área de Sometimes, sobre el que existe un estudio similar al que aquí se presenta.

1.2. Objetivos e indicadores ambientales

Los propósitos de reducción de huella ecológica, neutralidad en emisiones de dióxido de carbono y renovabilidad de la energía enunciados para la reconversión del área en general se traducen en objetivos específicos que deben cumplir los edificios a rehabilitar y que, por tanto, son válidos también para el estudio realizado sobre el Bloque 1 de Can Pastilla. A tal efecto el objetivo central del estudio fue determinar los criterios de rehabilitación y uso que deben seguir los edificios de vivienda del área de PdP, a través del caso piloto, alcanzando una reducción de impacto ambiental del orden del 50% respecto de la situación actual y de una rehabilitación estándar en un ciclo de vida de 50 años. Los indicadores ambientales escogidos para

ello son:

- a) Energía [MJ/m²]: consumo asociado a todos los procesos de la vida útil del edificio.
- b) Agua [l/persona y día]: consumo sanitario, de limpieza y de riego.
- c) Materiales [Kg/m²]: consumos de rehabilitación y mantenimiento.
- d) Residuos de construcción [kg/m²]: de rehabilitación y de mantenimiento.
- e) Emisiones de efecto invernadero [kgCO₂/m²]: asociadas a la energía consumida en todos los procesos de la vida útil del edificio. Adicionalmente se debía alcanzar una calificación energética A ó B de acuerdo a las exigencias del RD 47/2007. Y, asimismo, se debían desarrollar las bases de un procedimiento estándar de evaluación y mejora ambiental a ser aplicado en la rehabilitación de otros edificios, tanto residenciales como hoteleros, del área de PdP.

1.3. Síntesis de la metodología empleada

En forma resumida los pasos seguidos para determinar las características de la rehabilitación a realizar, de los que se ofrece más información a lo largo del documento, son:

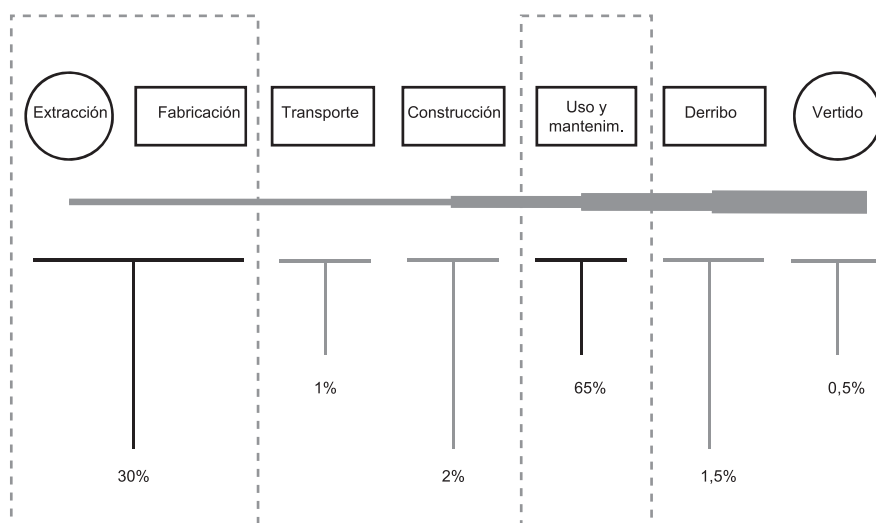
1. Obtener información del edificio a rehabilitar mediante documentación y visitas: planos, sistemas técnicos constructivos y de instalaciones, consumos de recursos, perfil de uso, tipo de gestión y clima.
2. Realizar un perfil informatizado de los impactos ambientales del edificio (con la ayuda de los programas LIDER, CALENER y otros² en energía; del programa TCQ 2000 y del banco BEDEC PR/PCT³ en materiales de construcción; un balance hídrico sobre hoja Excel en agua; y diversos cómputos mediante el programa y el banco ya citados para los materiales así como también fichas técnicas y datos propios en residuos de obra).
3. Determinar las estrategias y acciones de reducción de impacto ambiental más oportunas para las fases de rehabilitación y uso, con valoración técnica, económica y de cumplimiento de normativo.
4. A partir de lo anterior, realizar el perfil informatizado de los impactos ambientales del edificio, de acuerdo a su rehabilitación y gestión posterior, y verificar si cumple un 50% de reducción en consumo de energía, agua y materiales y en la generación de emisiones de CO₂ y residuos de construcción, respecto del edificio existente y de una rehabilitación estándar en un ciclo de vida de 50 años.

El estudio hace foco especialmente en las fases de extracción y fabricación de materiales así como de uso del edificio, ya que concen-

¹ Formado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares, el Consell Insular de Mallorca y los ayuntamientos de Palma y Lluçmajor / www.consorcio-playa-de-palma.es El trabajo que se presenta aquí se inscribe en el master plan 'Estrategia para el balance Cero CO₂ en un desarrollo turístico mediterráneo existente', del cual son autores de Ramón Rodríguez y Ana Fernández, que se resume en otro artículo de esta misma revista.

² Adicionalmente han sido utilizados los programas Ecotect, en el estudio de asoleo e iluminación natural y Design Builder/Energy Plus en el estudio de galerías captadoras de energía solar y sistemas de ventilación natural.

³ Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña www.itec.cat



1. Flujo acumulativo de emisiones de CO₂ en el ciclo de vida de los edificios residenciales plurifamiliares españoles y participación de cada una de las fases del ciclo de vida en él. El total acumulado en 50 años es de, aproximadamente, unos 2.500 KgCO₂/m² (aproximación a partir de diversos estudios y datos propios).

2. Esquema de la metodología de comparación de impactos ambientales empleada, que tiene en cuenta los escenarios de referencia y proyecto, con especial atención a las fases de producción de materiales y de uso del edificio.

1

tran hasta un 90% del consumo de energía y emisiones de CO₂ del ciclo de vida de un edificio (Figura 1) de acuerdo a las fuentes consultadas (8).

1.4. Objetos e hipótesis de estudio

Existen tres objetos de estudio a considerar, para hacer posible la comparación de resultados y por tanto asegurar el cumplimiento de los objetivos ambientales: a) el edificio Bloque 1 existente, en su estado actual, b) el modelo de rehabilitación estándar, o práctica habitual y c) el modelo de rehabilitación ambiental, en adelante llamado PdP.

El edificio existente es el punto de partida para saber si las mejoras de rehabilitación en los vectores de energía, agua y residuos de uso alcanzadas con el modelo de rehabilitación PdP cumplen objetivos. Y el modelo de rehabilitación estándar es la base para saber si las mejoras de rehabilitación en los vectores de materiales y residuos de construcción alcanzadas con el modelo PdP cumplen objetivos (Figura 2).

A diferencia del modelo de rehabilitación estándar, el modelo de rehabilitación ambiental no se basa en una práctica existente sino que se formula como respuesta a los objetivos ambientales. Siguiendo la metodología allí descrita, el edificio existente y las distintas acciones posibles son analizados desde el punto de vista ambiental, de modo que la intervención en el edificio no se determina sólo por razones funcionales, estéticas, económicas, etc., sino en función de su aportación para alcanzar los objetivos.

Otra cuestión de importancia es la dimensión del ciclo de vida. La consideración de las distintas fases del ciclo de vida de los edificios, cada una de ellas con su importancia relativa, hace imprescindible el encadenamiento de

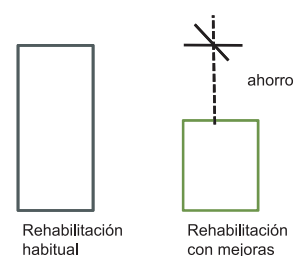
acciones de reducción de impacto ambiental. Se determina de esta forma un trabajo continuo en los distintos vectores ambientales, en el que cada fase cuenta en el total.

1.5. Documentos de referencia en la temática

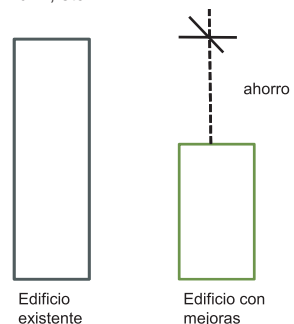
Como parte del trabajo se realizó una búsqueda de información sobre procesos de rehabilitación bajo objetivos de reducción de impacto ambiental y evaluación ambiental del ciclo de vida de edificios plurifamiliares, tanto en España como en el resto de Europa. Las características de los principales documentos hallados se resumen en los siguientes puntos.

- Publicaciones que se refieren a metodología de evaluación ambiental de edificios (1) a valores de referencia de los impactos (2) y a edificios rehabilitados con valoración cuantitativa (3).
- Proyectos realizados, con financiación pública, sobre rehabilitación de viviendas plurifamiliares con objetivos de reducción de consumo de energía y emisiones de CO₂ (4).
- Ponencias de congresos que analizan desde un punto de vista ambiental la experiencia española en rehabilitación de vivienda (5) y que analizan los principales sistemas de evaluación de calidad ambiental de edificios (6).
- Artículos publicados en revistas científicas, sobre evaluación ambiental de ciclo de vida de edificios turísticos en el área de Playa de Palma (7).
- Tesis doctorales sobre análisis de ciclo de vida simplificado para edificios de vivienda con valores de referencia de la construcción estándar española (8).

Fase de rehabilitación: Materiales



Fase de uso: Climatizac., ACS, Ilum., etc.



2

3. Vista del edificio a rehabilitar, objeto de este estudio, desde el cruce de las calles Dofí y Singladura.

4. Planta tipo del edificio a rehabilitar, objeto de este estudio.

5. Sección del edificio a rehabilitar, objeto de este estudio, con la descripción de los principales subsistemas constructivos.

- Estudios pluridisciplinares sobre la formulación de proyectos arquitectónicos de vivienda plurifamiliar bajo objetivos de reducción de consumo de energía y de emisiones de CO₂ (9).

2. ESTUDIO REALIZADO

2.1. Edificio existente

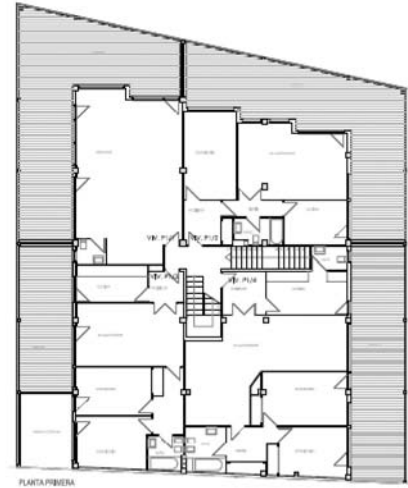
El Bloque 1 es un edificio de viviendas de forma compacta con fachadas a calle y plaza en tres de sus lados y medianera en el restante (Figura 3). Fue construido en 1977 y tiene una superficie total edificada de 1.163 m², repartidos en una planta baja comercial y tres plantas superiores de viviendas (Figura 4). No ha sufrido ninguna rehabilitación integral desde entonces.



3

La planta baja tiene 3 locales comerciales y contiene además el vestíbulo de acceso a las viviendas. La planta primera, originalmente

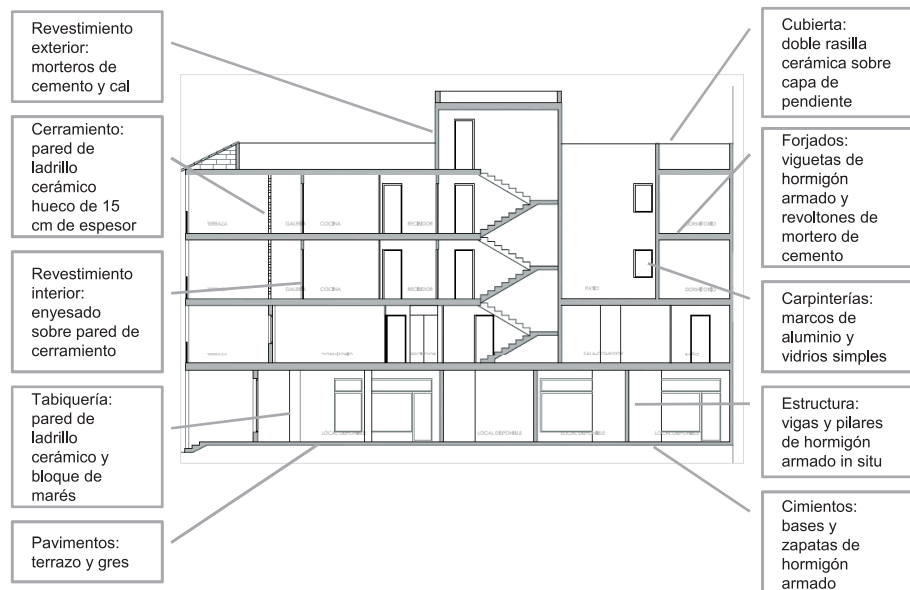
destinada también a locales comerciales, aloja 3 viviendas y un local destinado a despacho. Las plantas segunda y tercera albergan 3 viviendas cada una y desde el arranque de la primera de ellas existe un patio de ventilación.



4

El Bloque 1 posee tres fachadas de similar tratamiento (galería porticada con el cerramiento de locales y viviendas retrasado unos 3 m), orientadas hacia las calles Dofí (donde se encuentra el acceso a las viviendas, con orientación suroeste), Singladura (con orientación noroeste) y de la Plaza Pius IX (con orientación noreste).

Las principales características constructivas del edificio son las siguientes (Figura 5):



5

- Cimentación del edificio de zapatas aisladas de hormigón armado.
- Estructura de pilares de hormigón armado en el interior y pilares de acero revestidos con mortero en el perímetro de fachada. Forjados unidireccionales de bovedilla cerámica sobre vigas de hormigón armado.
- Muros de fachada de bloques huecos cerámicos o de hormigón de 20 cm de espesor, sin aislamiento.
- Tabiques interiores y muros de separación de viviendas o edificios en marés de 4,5 y 15 cm de espesor.
- Acabados interiores de paramentos y techos de mortero enyesado a buena vista.
- El revestimiento de los muros exteriores es de revoco de mortero de cemento y cal fratasado.
- Cubierta plana formada por, de arriba abajo, atobas de barro cocido de 20 x 20 cm, mortero de cemento, tela asfáltica de impermeabilización, capa de formación de pendiente de hormigón de árido ligero de 10 cm de espesor y forjado del tipo ya descripto, sin aislamiento.
- Carpintería exterior de marco de aluminio, sin rotura de puente térmico, con vidrio simple claro de 8 mm de espesor, sin protecciones solares (aunque en algunos casos se han agregado toldos).
- Pavimento interior de baldosas de terrazo de 30 x 30 cm, instaladas sobre mortero de cemento.

En cuanto a las instalaciones, las de calefacción y refrigeración y agua caliente sanitaria no están conectadas a la red urbana de gas (aire propanado) existente en Can Pastilla. No hay una solución centralizada de sistemas de acondicionamiento térmico, sino que cada vivienda incorpora soluciones puntuales que se describen a continuación:

- Sistemas de calefacción y refrigeración eléctricos, mediante bombas de calor con unidades exteriores dispuestas en las terrazas.
- Sistemas de agua caliente sanitaria con termos eléctricos con y sin acumulación.
- Sistemas de iluminación con distintas fuentes: fluorescencia estándar en comercios y fluorescencia compacta, bombillas incandescentes (menos del 25% del total) y lámparas halógenas en las viviendas.
- Las instalaciones de provisión y evacuación de agua están conectadas a la red. No hay sistema de recogida de agua lluvia ni canalización separada de la misma.
- Las instalaciones de cocción están formadas por cocinas y hornos de gas butano de bombona y, ocasionalmente, por cocinas y hornos eléctricos.

2.2. Modelo de rehabilitación estándar

No ha podido hallarse ningún documento que defina un modelo o unos modelos de rehabilitación estándar en edificación de vivienda en España. No obstante, la realización de entrevistas con diversos profesionales y la realización de una investigación específica (5) ha permitido trazar unos perfiles de intervención estándar. Estos perfiles, habituales en rehabilitación de viviendas de antigüedad similar al caso del edificio de estudio en Can Pastilla (Figuras 6, 7 y 8), se han utilizado para definir el modelo de rehabilitación estándar y corresponden a dos tipos de intervención claramente definidos:

- La rehabilitación de viviendas de titularidad pública y población de renta baja o media, a cargo de promotores públicos, de baja intensidad material.
- La rehabilitación de viviendas de titularidad privada y población de renta media o alta, a cargo de promotores privados, de alta intensidad material.

El primer caso (vivienda y promotor públicos) puede definirse mediante las siguientes características:

- El mantenimiento de casi todos los sistemas constructivos y de instalaciones, excepto cuando presenten patologías constructivas, estructurales, de seguridad, de obsolescencia o funcionales.
- La necesidad de actuar, casi siempre, manteniendo el edificio ocupado, hecho que impide o dificulta la intervención en espacios interiores, así como también obliga a una compleja programación.
- La actuación casi exclusivamente restringida al exterior y las zonas comunes, que obliga al empleo de sistemas constructivos y de instalaciones sobrepuestos a la construcción existente (por ejemplo, la rehabilitación de fachadas mediante el agregado de capas de aislamiento, impermeabilización y acabado por el exterior).
- Casi nunca se actualiza el edificio en otros aspectos normativos, como por ejemplo la adecuación a la limitación de la demanda energética, la captación de energías renovables, el ahorro de agua, etc.

En el segundo caso, la renovación de vivienda privada a cargo de promotores privados, el modelo de rehabilitación estándar puede definirse mediante las siguientes características principales:

- La actuación casi siempre se realiza desocupando completamente el edificio o al menos una parte.

6. Bloque de viviendas rehabilitado y por rehabilitar. Alférez Rojas, Zaragoza Vivienda.

7. Incorporación de balcones y ascensor. Trinitat Nova, Barcelona, ADIGSA.

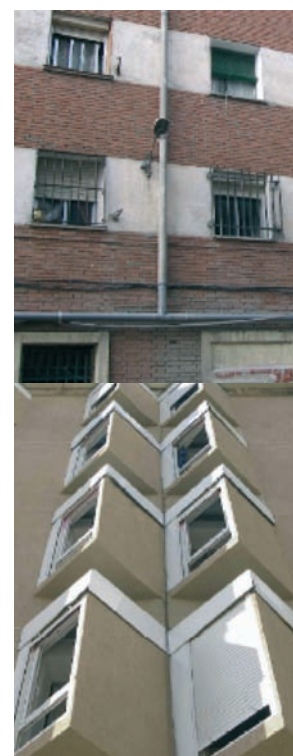
8. Aislamiento y nuevas carpinterías. San Cristóbal, Madrid, M. de Luxán, G. Gómez.



6

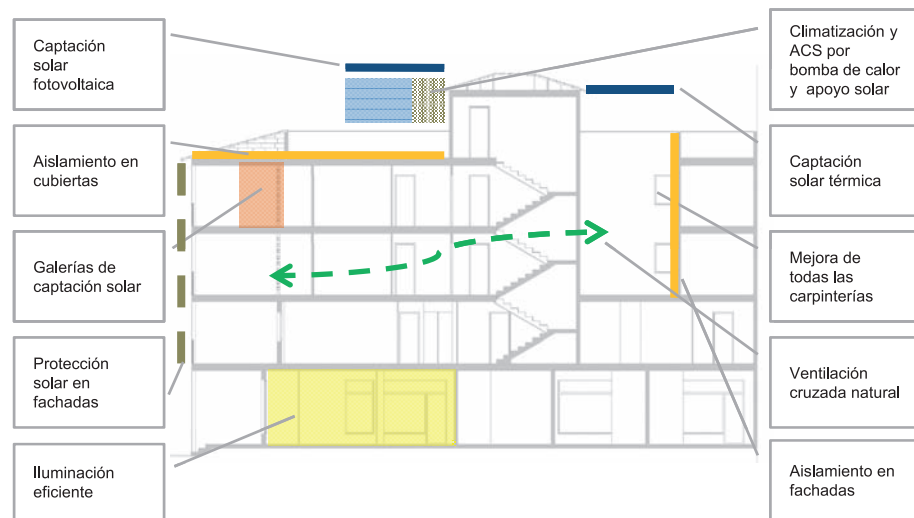


7



8

9. Sección del edificio a rehabilitar, objeto de este estudio, con la descripción de las principales medidas de reducción de la demanda y aumento de la eficiencia energéticas incluidas.



9

- El vaciado casi total del edificio a excepción de estructuras y cerramientos fijos principales.
- Frecuentemente, la consolidación y/o el refuerzo de estructuras.
- La adición de nuevas carpinterías, particiones, falsos techos, instalaciones, acabados, etc.
- La rehabilitación y/o reforma de las fachadas, sin que necesariamente se incorpore aislamiento.
- Frecuentemente, la actualización de las instalaciones anti incendio, de climatización y ACS, de ascensores, de telecomunicaciones y de fontanería y saneamiento, a la reglamentación vigente.
- Casi nunca se actualiza el edificio respecto de la demanda energética, la captación de energías renovables, el ahorro en el uso del agua, las instalaciones de separación selectiva de residuos, etc.

La doble lectura del perfil de rehabilitación habitual realizada –sobre actuaciones públicas y privadas- abre la posibilidad de considerar diferentes tipos de intervención como modelo estándar de rehabilitación, aunque probablemente ninguno se ajusta a las particularidades que se espera tengan las futuras intervenciones bajo objetivos ambientales definidos por el del Consorci de Platja de Palma.

En efecto, por una parte existen unos objetivos ambientales a cumplir y, por otra parte, el modelo de gestión de PdP se prevé mixto: actuaciones sobre edificación de titularidad privada, principalmente, pero con gestión y parte del financiamiento públicos. Por esta razón y a efectos de realizar una comparación

equilibrada y coherente entre ambos escenarios –necesaria para el análisis ambiental y la verificación del cumplimiento de los objetivos- el modelo de rehabilitación estándar a considerar en este estudio se refiere a la práctica habitual, tanto pública como privada, pero restringida a los mismos elementos constructivos o de instalaciones sobre los que actúe el modelo de rehabilitación PdP.

2.3. ANÁLISIS, EVALUACIÓN, PROPUESTAS DE MEJORA Y RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta el trabajo de análisis de la situación existente, estrategias y acciones de mejora y resultados alcanzados en cada vector: Energía, Agua, Materiales y Residuos de obra.

2.3.1. Energía

- **Situación existente:** se realizó un estudio detallado de la demanda energética mediante el programa LIDER, detectándose que las necesidades de calefacción representan un 77% de la energía mientras que las de refrigeración se sitúan en el 23%, siendo la primera de ellas superior al límite establecido actualmente por la normativa (CTE-HE1) en casi un 50%. La envolvente carece de aislamiento térmico.

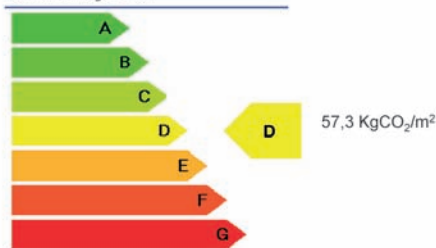
El análisis de incidencia solar realizado con el programa Ecotect permite detectar que en las carpinterías orientadas a SE y NO, pese a la protección de los balcones, hay un exceso de radiación en verano.

En invierno, por el contrario, los grandes aleros evitan ganancias solares que ayudarían en la calefacción.

El análisis funcional del edificio pone en evi-

Situación actual

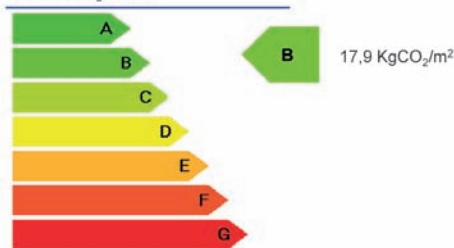
Certificación Energética de Edificios
Indicador kgCO₂/m²



Energía final (kWh/m²): 58,4
Energía primaria (kWh/m²): 195,3

Propuesta de rehabilitación PdP

Certificación Energética de Edificios
Indicador kgCO₂/m²



Energía final (kWh/m²): 25,1
Energía primaria (kWh/m²): 84,1

10. Calificaciones del edificio existente y de la propuesta de rehabilitación de acuerdo a la certificación energética de edificios de nueva planta y gran rehabilitación (RD 47/2007), emisiones de CO₂ y consumos energéticos en energía primaria y final anuales. En la representación de la simulación del escenario de rehabilitación se han incluido los siguientes aspectos bioclimáticos cuya repercusión en la demanda y eficiencia energéticas escapa a las posibilidades de cálculo del programa CALENER VvP: galerías de captación solar (4% de ahorro en calefacción), ventilación cruzada por plenums (2% de ahorro en refrigeración) y captación fotovoltaica (10KWp).

10

dencia que no existe posibilidad de ventilación cruzada, algo deseable para aprovechar la brisa de la noche en el refrescamiento de la masa construida⁴. Las instalaciones no poseen casi ninguna característica de eficiencia energética (no son centralizadas, ni regulables, ni se complementan, ni aprovechan calor o frío residual, ni emplean energías renovables). El análisis realizado con el programa CALENER en los usos de calefacción, refrigeración, iluminación y ACS y el empleo de datos estadísticos⁵ en cocina y electrodomésticos permitió situar las emisiones de CO₂ totales de uso del edificio en 81,9 KgCO₂/m², un valor que se considera elevado.

- **Estrategias empleadas** (Figura 9): a) reducción de la demanda, agotando las posibilidades de optimización de la envolvente térmica, de la captación solar (incorporación de galerías) en invierno y de la ventilación cruzada (incorporación de plenums de conducción) en verano. b) aumento de la eficiencia, a partir del análisis de las posibilidades de los sistemas e instalaciones existentes, sustituyéndolas por otros más eficientes (bomba de calor con apoyo solar)⁶. c) aprovechamiento de recursos locales valorando el uso de las energías renovables que ofrece el entorno (instalación solar térmica y fotovoltaica) y d) gestión a partir de las pautas de uso y el perfil de gestión actual del edificio y sus posibilidades de optimización.

- **Acciones:** con la ayuda del programa Energy Plus/Design Builder y datos estadísticos se simularon y calibraron unas galerías captadoras de radiación solar incorporadas en los balcones, que actúan en invierno, y unos plenums de ventilación entre el interior de las viviendas, la caja de escaleras y el patio

de luces interior, que actúan en verano. El conjunto de acciones se sintetiza en el gráfico 9.

La acción combinada de las acciones descritas, evaluadas con el programa CALENER y las otras herramientas mencionadas, permitió alcanzar una gran reducción de consumo energético (Figura 10).

Los usos de climatización, iluminación, ACS e iluminación representan hasta el 70% de la energía total de las viviendas⁶, por lo que el 30% restante tiene origen en cocina y otros usos previéndose, de acuerdo a la experiencia de las mejores prácticas del sector, acciones para reducir hasta un 50% del consumo⁷.

Los resultados finales, correspondientes al total de usos energéticos del edificio en fase de uso, son los siguientes: Situación actual, 81,9 KgCO₂/m²; Rehabilitación PdP, 30,2 KgCO₂/m²; Ahorro alcanzado, 63%.

2.3.2. Agua

- **Situación existente:** una inspección del edificio detectó que el equipamiento no incluía ningún mecanismo de ahorro (inodoros con cisterna de 9 litros, caudales de grifos entre 20 y 17 l/minuto, entre otros) así como tampoco la utilización de aguas regeneradas (de lluvia, grises, etc.) en usos donde no es necesaria la calidad potable. A partir de ello, de la cantidad de habitantes y sin que pudiera tenerse acceso a datos de consumo real, se realizó un balance hídrico que, basándose en frecuencias de uso de datos estadísticos⁸, situó el consumo en unos 178 l/p y d, cifra que se considera elevada.

- **Estrategias empleadas:** a) aumento de la eficiencia, reduciendo el consumo de agua

⁴ La consulta de los datos estadísticos de la estación climatológica más próxima, Son Sant Joan, permitió establecer que la temperatura media del aire en las noches de verano se sitúa en unos 19°C.

⁵ *Estrategia Española E4* y el *Pla de Millora Energètica* de Barcelona PMEB de 2004.

⁶ Nota: el Consorci de Platja de Palma prevé la utilización exclusiva de energía eléctrica (que en el futuro provendrá de una red de fuentes primarias renovables) apoyada con captación solar fotovoltaica en el propio edificio.

⁷ Entre ellas: a) en cocina y lavadero, sustitución de lavavajillas y lavadoras convencionales por bitérmicas y de neveras convencionales por clase energética A (hasta un 65% de ahorro). Sustitución de cocinas convencionales por eléctricas de inducción (hasta un 35% de ahorro respecto de las eléctricas convencionales). b) en ofimática y electrónica de audio y televisión, sustitución de equipos convencionales por otros de certificación *Energy Star* (entre un 30% y un 75% de ahorro según el caso) y eliminación del consumo en función stand by. c) Cambio de hábitos de consumo de los habitantes (entre un 10 y un 15% de ahorro, de acuerdo a la experiencia del concurso "La comunidad ahorra" organizado por la Casa Encendida de Madrid).

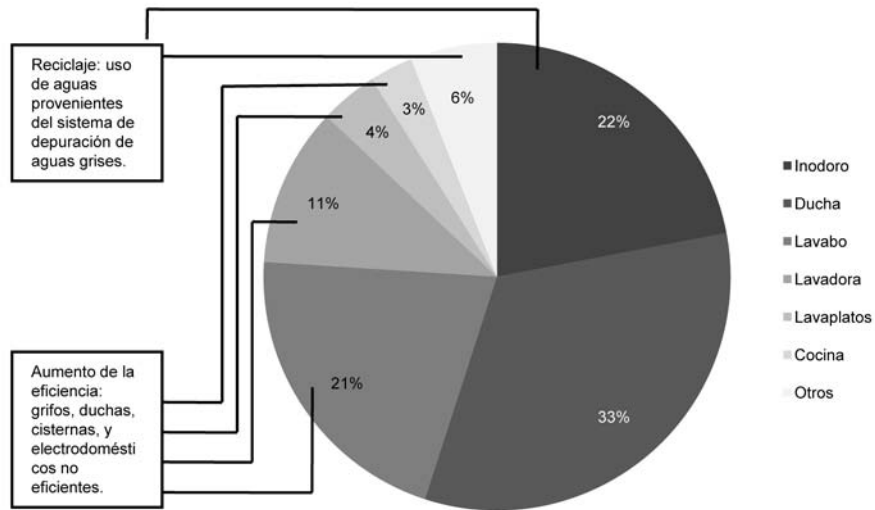
⁸ *Estudi del consum d'aigua als edificis de la Regió Metropolitana de Barcelona* de la Generalitat de Catalunya, de julio de 2004

11. Consumo estimado de agua potable en el edificio a rehabilitar, objeto de este estudio, y repartición según usos. Aproximación realizada mediante la consideración de tecnologías de aparatos sanitarios existentes y pautas de uso basadas en el comportamiento de edificios similares.

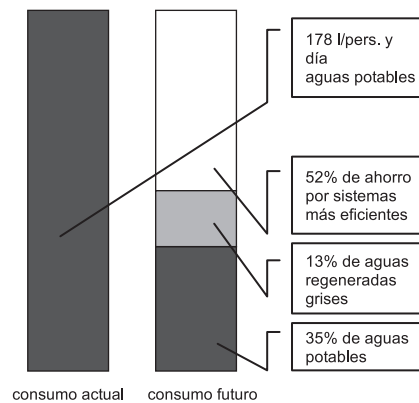
12. Balance hídrico del edificio existente y de la propuesta de rehabilitación, mostrando los ahorros de agua potable su sustitución parcial por aguas grises.

13. Cuadro de impactos ambientales de los materiales del edificio a rehabilitar, agrupados por capítulos de obra. El mantenimiento total o parcial de los subsistemas señalados en gris oscuro y claro, respectivamente, representa, respecto de derribar y volver a construir, un 75% de ahorro en emisiones de CO₂ de producción de materiales.

Aproximación al consumo actual: 178 l/persona y día



11



12

por unidad de servicio, b) aprovechamiento de recursos locales como el agua de lluvia y c) reciclaje de aguas grises.

- **Acciones** (Figura 11): cambio a grifos, duchas, cisternas, electrodomésticos y otros equipos de menor consumo, captación y cesión del agua de lluvia para usos municipales y depuración de aguas grises, de lavabos y duchas, para su reutilización en limpieza y descarga de inodoros.

- **Resultados:** la incorporación de mecanismos de ahorro en todos los puntos de consumo permitió alcanzar una reducción del 52% a la que se suma un 13% de sustitución de aguas potables por grises (Figura 12).

Los resultados finales, correspondientes al total de usos de agua del edificio en fase de uso, son los siguientes: Situación actual, 178 l/p y d; Rehabilitación PdP, 60,5 l/p y d; Ahorro alcanzado, 65%.

2.3.3. Materiales

- **Situación existente:** una inspección del edificio detectó que las estructuras y cerramientos principales no presentaban grandes problemas respecto de su conservación para un nuevo ciclo de uso, previéndose la sustitución parcial de pavimentos, revestimientos, carpinterías e instalaciones de clima y ACS, así como la incorporación de aislamiento térmico con revestimiento exterior en fachadas y cubiertas, instalaciones de energía renovables, galerías de captación solar, protecciones solares y plenums para ventilación natural cruzada.

- **Estrategias empleadas:** a) conservar la mayor parte posible de los materiales existentes, poniendo en valor o reparando las soluciones constructivas actuales. b) disminuir la cantidad y el impacto de los materiales a renovar o agregar al edificio, utilizando soluciones constructivas de bajo consumo por unidad de servicio y materiales renovables o reciclados. c) minimizar el mantenimiento, seleccionando materiales de bajo impacto y larga durabilidad.

- **Acciones** (Figuras 13 y 14): se conservó el 100% de las cimentaciones y las estructuras, así como hasta un 50% de las cubiertas, cerramientos y divisorias fijas, pavimentos y revestimientos y cerramientos y divisorias móviles. El resto de los subsistemas constructivos debieron ser reemplazados. Los materiales a renovar y a agregar, en su mayoría y de acuerdo a los estudios consultados (9), fueron de base natural.

Materiales a conservar

Capítulo	kg/m ²	%	MJ/m ²	%	kg CO ₂ /m ²	%
Cimientos	90,55	5,6%	87,92	2,1%	12,12	2,8%
Estructuras	1038,24	64,2%	2.668,42	64,4%	260,19	59,4%
Cubiertas	29,01	1,8%	58,58	1,4%	6,92	1,6%
Cerramientos y divisorias	137,34	8,5%	202,2	4,9%	19,47	4,4%
Impermeabilizaciones y aislamientos	1,21	0,1%	53,71	1,3%	7,73	1,8%
Revestimientos	103,87	6,4%	220,43	5,3%	23,45	5,4%
Pavimentos	201,74	12,5%	227,19	5,5%	26,46	6,0%
Cerramientos y divisorias practicables	3,91	0,2%	465,94	11,2%	67,15	15,3%
Protecciones y señalización	2,90	0,2%	65,95	1,6%	5,4	1,2%
Acristalamientos	1,19	0,1%	18,94	0,5%	1,12	0,3%
Instalaciones	8,04	0,5%	76,96	1,9%	8,03	1,8%
Total	1618,00	100%	4.146,23	100%	438,03	100,0%

Partes que pueden conservarse: al 100%  al 50% 

13

- **Resultados:** la realización en paralelo de dos presupuestos de rehabilitación con datos ambientales⁹, basados respectivamente en los modelos de rehabilitación estándar y PdP ya descriptos permitió calcular la energía y las emisiones de CO₂ de extracción y fabricación de los materiales empleados. El mismo proceso se empleó en la determinación de los valores de la etapa de mantenimiento (Figura 15).

Los resultados finales, correspondientes al uso de materiales de rehabilitación y mantenimiento, son: Rehabilitación estándar, 892 kgCO₂/m²; Rehabilitación PdP, 349 kgCO₂/m²; Ahorro alcanzado, 61%.

2.3.4. Residuos

- **Situación existente:** al igual que en el caso de los materiales, en los residuos de obra se contraponen dos modelos de rehabilitación

(estándar y PdP) que, partiendo de soluciones constructivas, acciones de minimización y gestión para el reciclaje distintas, alcanzan resultados muy diferentes. Se estudió también la logística de gestión de residuos existente en Mallorca, a efectos de determinar si es posible dar cumplimiento al objetivo del 50% de reducción previsto sólo con acciones de proyecto y obra o bien si es necesario realizar una propuesta de modificación en la gestión externa. Teniendo en cuenta la dificultad para establecer la generación de residuos en uno y otro caso (escenarios estándar y PdP) a partir de valores de referencia locales, la estimación de cantidades y tipos de residuos a generar se realizó con la ayuda de datos estadísticos¹⁰, bancos de datos¹¹ y fichas de cálculo¹².

- **Estrategias empleadas:** a) reducir la generación (ej.: soluciones prefabricadas de montaje en seco), b) reutilizar los residuos generados (ej.: triturado de derribo de obra de fábrica), c) reciclar los residuos generados que no se

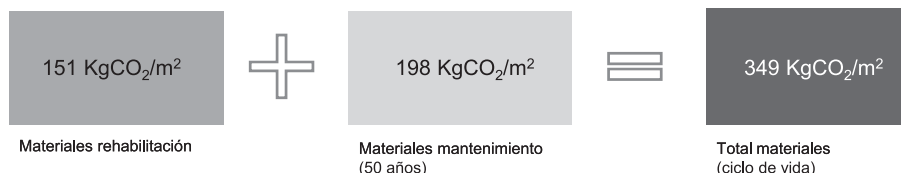
14. Ejemplos de sistemas constructivos de rehabilitación de bajo impacto ambiental, basados en materiales naturales renovables y/o materiales industriales reciclados, así como también en juntas secas que permiten recuperarlos, sin mezclarlos, al final de su vida útil. Imágenes: Factor 10, Sabaté arquitectos Arquitectura y sostenibilidad.

15. Balance de emisiones de CO₂ de producción de los materiales de rehabilitación y mantenimiento del edificio existente y de la propuesta de rehabilitación, mostrando los ahorros conseguidos.

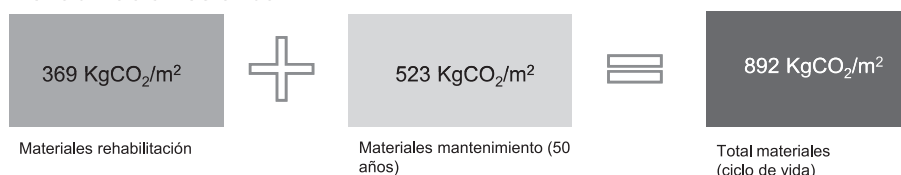


14

Rehabilitación PdP



Rehabilitación estándar



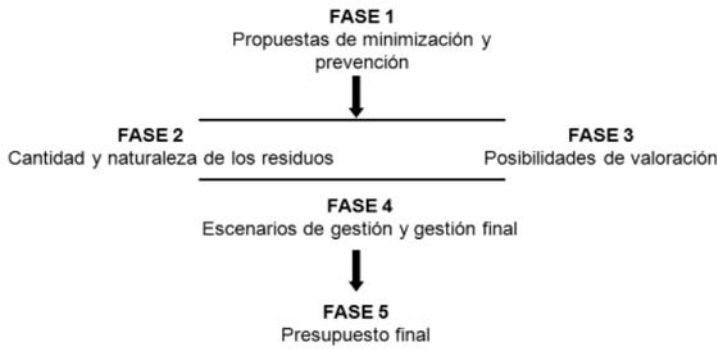
⁹ Con la ayuda del programa TCQ 2000 y el banco de precios de referencia de partidas de construcción y rehabilitación BEDEC PR/PCT del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.

¹⁰ Proyecto Life 98/351 realizado por el ITeC.

¹¹ Banco de precios de referencia de partidas de construcción y rehabilitación BEDEC PR/PCT del ITeC.

¹² Oficina Consultora Técnica del Colegio de Arquitectos de Cataluña.

15



Fracciones	Gestión
Cerámica y otros pétreos	Reciclaje
Metal	Reciclaje
Madera	Reciclaje
Vidrio	Reciclaje
Plástico film	Reciclaje
Papel y cartón	Reciclaje
Yeso	Vertido
Especiales	Tratamiento según residuo
Banales	Vertido o incineración

16. Esquema de fases a tener en cuenta en la elaboración de los estudios, en fase de proyecto ejecutivo, y planes, en fase de obra, de minimización y gestión de residuos para su reciclaje, a aplicar en el edificio a rehabilitar.

17. Escenarios de separación selectiva previstos para cada fracción en el plan de minimización y gestión de residuos para su reciclaje, a aplicar en el edificio a rehabilitar.

18. Estudio de minimización y gestión de residuos en fase de proyecto: Ejemplo de variación de la naturaleza y cantidades generadas por diferentes tipos de pavimentos, que permite no solo conocerlos de forma anticipada, sino también aplicar acciones de reducción, mediante la selección de los subsistemas de menor generación y mayor reciclabilidad. Fuente: banco BEDEC del Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.

Soluciones constructivas: pocos residuos y reciclables

Código	U.M.	Definición	€	Más Info
E9C1_01 - PAVIMENTO DE TERRAZO LISO (E) 4,79 Kg/m²				
E9C1243A	m2	Pavimento de terrazo liso de grano mediano, de 40x40x40x40 cm, precio medio, colocado a pique de maceta con mortero de cemento 1:6, elaborado en obra con hormigonera de 165 l, para uso interior normal	22,84	(J,MA,ON)
E9N1_01 - PAVIMENTO DE LOSETAS DE CORCHO (E) 0,86 Kg/m²				
E9N1140V	m2	Pavimento de losetas de corcho de 4 mm de espesor, colocadas con adhesivo	15,02	(J,MA)

puedan reutilizar (ej.: metales), d) recuperar la energía de los residuos no reutilizados ni reciclados que admitan combustión controlada (ej.: maderas o plásticos sucios o mezclados) y e) verter los residuos que no admiten ninguna valoración (ej.: vidrio laminado).

- **Acciones** (Figuras 16, 17, 18 y 19): los principales instrumentos tenidos en cuenta son el estudio en fase de proyecto y el plan en fase de obra, así como el escenario de separación selectiva de nueve diferentes fracciones y la gestión para su reciclaje.

- **Resultados:** las soluciones constructivas de baja generación de residuos, las acciones de separación selectiva, reutilización y gestión para el reciclaje en obra no bastan para alcanzar el objetivo (reducir al menos en un 50% los residuos que se entierran o incineran respecto de la rehabilitación estándar).

El estudio de la logística de gestión a escala insular constató que el sistema tarifario actual no promueve suficientemente el reciclaje, ya que cuanto más exigente es la separación, más elevado es el coste de gestión de los residuos (el escenario mínimo está formado por residuos pétreos, banales y especiales, favoreciéndose la recuperación energética frente al reciclaje). En consecuencia, para hacer posible el nivel de reciclaje previsto por el modelo PdP es necesario cambiar la logística de gestión a escala insular.

2.3.5. Ciclo de vida

El ciclo de vida ha sido definido dentro de un plazo de 50 años, a contar a partir del momento de su rehabilitación. El indicador empleado para realizar una lectura del comportamiento de ambos escenarios (el edificio actual rehabilitado según los modelos estándar y PdP) son las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la producción energía empleada en la extracción y fabricación de materiales, el transporte a obra, el proceso de construcción, el uso, el mantenimiento y el derribo¹³. Las emisiones de CO₂, además de ser uno de los indicadores principales en todos los estudios que se llevan adelante en el ámbito de Consorci de Platja de Palma conforman lo que se llama 'un indicador de indicadores' que permite tomar medida de la energía empleada, el consumo de recursos no renovables, otras formas de contaminación asociada y la repercusión en el cambio climático global, entre otros factores. Para el cálculo de las fases de transporte, construcción y derribo se han empleado diversos estudios estadísticos (8 y 9), adaptando sus valores a las particularidades de los modelos de rehabilitación (estándar y PdP) así como a la situación de insularidad de la localización del edificio en estudio.

Con estas premisas y teniendo en cuenta la cuantificación de impactos ambientales

¹³ La energía, y por tanto las emisiones de CO₂, relacionada con los vectores ambientales de Agua (captación, potabilización, transporte, evacuación, depuración y vertido) y de Residuos (gestión final de los mismos) no se tienen en cuenta debido a la falta de información rigurosa respecto de los consumos asociados a tales procesos.

Separación selectiva



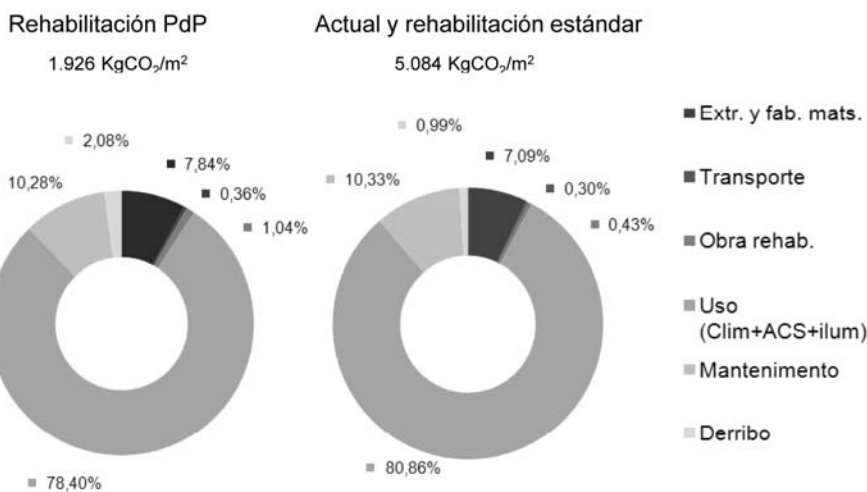
19. Plan de minimización y gestión de residuos en fase de obra. Ejemplos de recogida de residuos inertes a pie de tarea, almacenamiento de residuos especiales y separación selectiva de residuos reciclables, así como de desconstrucción, reciclaje y reutilización de áridos provenientes de hormigón.

Reciclaje efectivo



20. Balance de emisiones de CO₂ y repercusión de las distintas fases del ciclo de vida, considerando una fase de uso de 50 años, de la propuesta de rehabilitación PdP y del edificio existente con rehabilitación convencional.

19



20

presentada hasta ahora se calcularon las emisiones de CO₂ del ciclo de vida. El ahorro alcanzado por la rehabilitación PdP respecto del edificio actual y la rehabilitación estándar, en 50 años, es de 3.138 kgCO₂/m² (Figura 20). Teniendo en cuenta que la superficie del edificio es de 1.163 m² el ahorro total, gracias a los cambios introducidos en la rehabilitación, alcanzaría las 3.650 toneladas de CO₂.

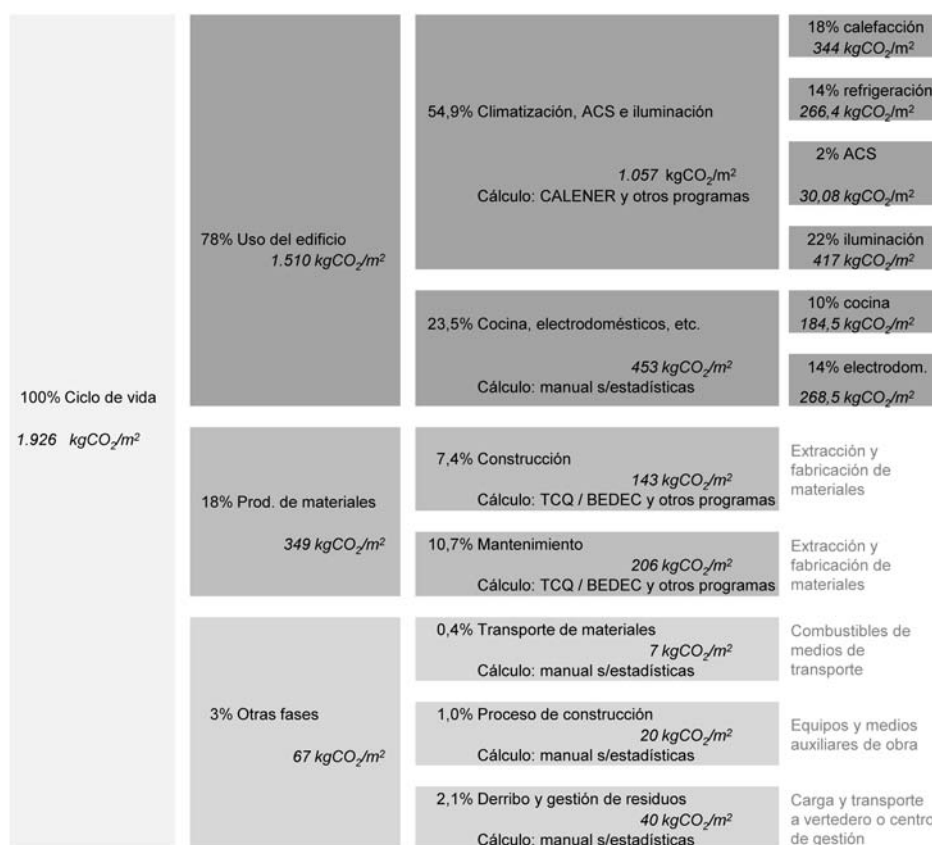
Cada fase del ciclo de vida puede ser analizada en mayor profundidad, desglosando las emisiones en según causas específicas (Figura 21). En algunas de ellas, como la producción de los materiales o la climatización del edificio, hay una influencia directa de las decisiones de proyecto y de la gestión de los edificios. En otras, como el uso de electrodomésticos o el tratamiento de residuos, la

influencia directa la tienen los usuarios o los gestores de residuos. En cualquier caso es importante tener en cuenta que el ámbito de la certificación oficial de eficiencia energética de los edificios está relacionado solo con un tercio del total, habiendo en consecuencia dos tercios que quedan fuera de esta evaluación de calidad.

La visión de ciclo de vida permite comparar, asimismo, cuatro escenarios posibles de actuación: el edificio actual como si no se interviniera sobre él, su demolición y sustitución por otro equivalente de obra nueva (que debe cumplir los estándares normativos actuales), la rehabilitación estándar o al uso y rehabilitación PdP. La contabilización de las emisiones de CO₂ de cada fase y totales para cada escenario permite establecer que la

21. Desglose de emisiones de CO₂ de las distintas fases y usos del ciclo de vida de la propuesta de rehabilitación, considerando una fase de uso de 50 años.

22. Comparación de emisiones de CO₂ en un ciclo de vida de 50 años, para diferentes opciones de actuación posibles en el edificio objeto de estudio.



21

KgCO ₂ /m ²	Edificio existente				Obra nueva				Rehab. estándar				Rehab. PdP			
Demolición (preexistencia)																
				50												
Uso del edificio	4.095	100%	1.660	41%	3.683	90%	1.510	37%								
Producción de materiales	514	100%	704	137%	892	174%	349	68%								
Otras fases	87	100%	99	114%	79	91%	67	77%								
Total ciclo de vida	4.696	100%	2.514	54%	4.654	99%	1.926	41%								

22

opción de mayor ahorro, siempre teniendo en cuenta un uso de 50 años, es la rehabilitación bajo objetivos ambientales de reducción de impactos de un 50%, o PdP (Figura 22).

2.3.6. Ahorro de emisiones de CO₂

Si la rehabilitación del edificio del Bloque 1 se lleva delante de acuerdo al cumplimiento de los objetivos del 50% o más de reducción de impactos ambientales (energía, agua, materiales, residuos de construcción y residuos de uso) se consiguen diversos ahorros de energía y, naturalmente, también de emisiones de CO₂ (Figura 23). Algunos ahorros se consiguen durante la etapa de rehabilitación, por única vez, mientras que otros tienen lugar en el uso posterior del edificio, a lo largo de 50 años. Se consignan tanto los ahorros directos,

reflejados en la facturación energética del propio edificio (aunque expresados en energía primaria) como los indirectos, derivados de un consumo de agua potable y una menor generación de residuos menores (Figura 23).

La aplicación de estrategias y acciones de mejora sobre todos los vectores ambientales permite alcanzar ahorros de energía y CO₂ que superan el tradicional enfoque de la eficiencia energética en fase de uso. Si, como se ha dicho, la fase de uso representa aproximadamente un 60-70% de la energía o las emisiones de CO₂ totales, hay otro 30-40% restante, representado por la gestión y el transporte del agua, la extracción y fabricación de materiales de construcción y la gestión y el transporte de los residuos de construcción, sobre el cual también es necesario actuar.

Ahorro anual por menor consumo de energía de uso

	Cons. actual [t/CO ₂]	Cons. futuro [t/CO ₂]	Ahorro [t/CO ₂]
Electricidad (y gas en el edificio actual)	95,2	35,1	60,1

Ahorro anual por menor consumo de agua

	Cons. actual [m ³]	Cons. futuro [m ³]	Ahorro [t/CO ₂]
Aqua potable de red	2.534	1.216	3,5
	0,0018876 tCO ₂ /m ³ (potabilización de agua en Mallorca)		
	0,0010842 tCO ₂ /m ³ (depuración de agua gris)		

Ahorro en fase de rehabilitación por utilización de materiales de menor consumo energético

	Cons. estándar [t/CO ₂]	Cons. rehab. PdP [t/CO ₂]	Ahorro [t/CO ₂]
Materiales de rehabilitación	429	176	254
	0,369 tCO ₂ /m ² (rehabilitación convencional)		
	0,151 tCO ₂ /m ² (rehabilitación PdP)		

Ahorro en fase de rehabilitación por reducción de residuos a transportar y gestionar

	Prod. estándar [t/CO ₂]	Prod. rehab. PdP [t/CO ₂]	Ahorro [t/CO ₂]
Electricidad y gasoil	3,3	1,6	1,6
	0,0008 tCO ₂ /t (carga y 15 km de transporte a vertedero, s/BEDEC ITeC)		
	0,0147 tCO ₂ /t (gestión de residuos en vertedero, s/Ecoinvent)		

23

23. Ahorros de emisiones de CO₂ conseguidos por la propuesta de rehabilitación respecto de la situación existente (energía y agua) y de la manera habitual de rehabilitar (materiales y residuos).

24. Costes estimativos de rehabilitación, agrupados según las opciones de reducción de impacto ambiental en energía, materiales, agua y residuos.

Rehabilitación PdP (propuesta)				
Total €	€ Energía	€ Materiales	€ Agua	€ Residuos
651.280	201.897	436.358	13.026	0,00
100%	31%	67%	2%	0%
€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²	€/m ²
560	174	375	11	0,00

24

2.3.7. Evaluación económica estimativa

Se ha realizado una valoración económica estimativa de las distintas medidas de la rehabilitación planteada en el escenario PdP (Figura 24), con las siguientes observaciones:

- El desarrollo del proyecto considerado corresponde a un estado inicial y no a la definición técnica de un proyecto ejecutivo. Por tanto, no fue posible realizar mediciones y presupuesto de obra conforme a proyecto sino una estimación de los costes que las distintas acciones a realizar supondrían.
- La valoración se basó en precios de referencia con ajustes de beneficio industrial, medios auxiliares de obra, estudios y planes de seguridad y salud, la gestión de residuos, y gastos generales.
- En los precios expuestos no están incluidas las tasas, licencias y gastos administrativos o financieros.
- En energía se reflejan las partidas que se deben exclusivamente a mejoras energéticas de las instalaciones (ej.: reemplazar una caldera por otra más eficiente) y parte de las partidas de rehabilitación de construcción que se deben exclusivamente a mejoras energéticas (ej.: incorporar o aumentar aislamiento térmico, protección solar, etc.).
- En materiales se reflejan las partidas que corresponden a rehabilitación de sistemas de instalaciones y constructivos excepto cuando se deben total o parcialmente a una mejora energética (ej.: la diferencia entre un vidrio cámara básico y otro de altas prestaciones).
- En agua se reflejan las partidas que corresponden a red de captación aguas de lluvia, sistema depuración de aguas grises, red de impulsión de agua regenerada, barreras hidráulicas sanitarias y grupo de bombeo para agua regenerada.
- En residuos se reflejan las partidas correspondientes a estudio y plan de minimización y gestión de residuos en fases de proyecto y obra respectivamente, de formación de personal, de gestión de residuos en obra y de transporte a plantas de tratamiento, de transferencia y vertederos. Se ha considerado que el coste puede compensarse completamente si se llegara a un acuerdo con Mac Insular y otros gestores de la construcción y derribo de Mallorca, en el sentido de disponer de precios más reducidos para material separado selectivamente (material preparado para reciclar, con baja densidad), tal como ocurre en otras Comunidades Autónomas.

3. CONCLUSIONES

El estudio de rehabilitación bajo objetivos ambientales del Bloque 1 de Can Pastilla, desarrollado a lo largo de casi un año, incluyó la reflexión de aspectos clave respecto del trabajo y sus resultados, de su posible extensión a otras actuaciones y de las barreras técnicas y económicas encontradas. En síntesis, puede decirse:

-Teniendo en cuenta las limitaciones de información (no se dispuso de auditorías de edificio) y de las herramientas de libre disposición empleadas (los programas de simulación energética oficiales no tienen en cuenta aspectos bioclimáticos, por ejemplo) la metodología empleada ha permitido desarrollar el trabajo con un nivel técnico adecuado, validándose en consecuencia.

-En fase de estudio y en el edificio piloto fue posible cumplir los objetivos, esto es, reducir en al menos un 50% el consumo de energía, de agua y de materiales así como la generación de residuos de construcción, de uso y de emisiones de CO_2 respecto del estado actual y de una rehabilitación estándar, den-

tro de en un ciclo de vida de 50 años.

-Ha podido comprobarse que, tal como se suponía, rehabilitar bajo criterios estrictos de reducción de impactos ambientales supone un esfuerzo económico extra (al menos hasta que la economía de mercado comience a reflejar el coste del deterioro ambiental que la mayoría de los bienes y servicios lleva asociado, aunque oculto). La diferencia que surge de las estimaciones económicas realizadas para los modelos estándar y PdP de rehabilitación sirve para tomar medida de cuánto costaría incorporar las externalidades del sector de la edificación a su propio ámbito, es decir asumir los impactos ambientales de los cuales deberá hacerse cargo el conjunto de la sociedad más tarde o más temprano.

-El esfuerzo económico o de gestión de la administración podría orientarse a las acciones de impacto ambiental que actualmente carecen de ayudas económicas: reducción del consumo de agua potable, materiales de menor impacto ambiental, gestión para la reducción del consumo energético, gestión para la reducción de la generación de residuos de construcción y uso, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Cuchí, A., Sagrera, A., López, F. y Wadel, G.: La qualitat ambiental als edificis, Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya, Barcelona, 2009.
- (2) Mañá, F. et al.: Parámetros de Sostenibilidad, Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña, Barcelona, 2003.
- (3) Baker, N.: The Handbook of Sustainable Refurbishment. Non-Domestic Buildings. RIBA Publishing, Londres, 2009.
- (4) Trama Tecnoambiental y Muntaner, O.: Informe final del Proyecto Piloto Español WP6 de SQUARE, Sistema de Garantía de Calidad para la mejora del ambiente interior y la eficiencia energética en la rehabilitación de viviendas multifamiliares [en línea]. Documento pdf. [Borås, Suecia]: SP Technical Research Institute of Sweden, abril de 2010 [citado el 25 de julio 2011]. Disponible en World Wide Web: www.iee-square.eu/InformationPublications/Reports/SQUARE_Pilot_projects_ES.pdf
- (5) Prat Navarro, F. et al.: La experiencia de rehabilitación de viviendas en España bajo parámetros ambientales. Un estado del arte. [en línea]. Documento pdf. [Madrid, España]: Green Building Council, España, junio de 2010 [citado el 25 de julio 2011]. Disponible en World Wide Web: www.sb10mad.com/ponencias/archivos/area_b.htm
- (6) Monterotti, C. et al.: Conclusiones sobre lo que pueden aportar unas herramientas de evaluación de la sostenibilidad ambiental ya existentes para un sello de calidad ambiental en la rehabilitación de los hoteles y viviendas de Playa de Palma. [en línea]. Documento pdf. [Madrid, España]: Green Building Council, España, junio de 2010 [citado el 25 de julio 2011]. Disponible en World Wide Web: www.sb10mad.com/ponencias/archivos/area_c.htm
- (7) Rosselló-Batle, B., Moià, A., Cladera, T., Martínez, V.: "Energy use, CO_2 emissions and waste throughout the life cycle of a sample of hotels in the Balearic Islands". *Energy and Buildings*, nº 42 (2010), pp. 547-558. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.10.024
- (8) Wadel, G.: La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda. [en línea]. Documento pdf. [Barcelona, España]: Universidad Politécnica de Cataluña, noviembre de 2009 [citado el 25 de marzo 2010]. Disponible en World Wide Web: www.tesisenred.net/handle/10803/6136
- (9) Sabaté J; et al.: Análisis de reducción de emisiones de CO_2 en un conjunto de viviendas en Tossa de Mar. [en línea]. Documento pdf. [Barcelona, España]: Sabaté arquitectes Arquitectura i Sostenibilitat, junio de 2010 [citado el 15 de octubre de 2009]. Disponible en World Wide Web: www.saas.es/investigacion