

Alumna: Aitziber Egusquiza Ortega

Arquitecta

aegusquiza@labein.es

Director: Dr. Josep Roca Cladera



Propuesta metodológica para una aproximación energética-patrimonial a la ciudad histórica

Master en Gestión y Valoración Urbana

Universidad Politécnica de Cataluña

Septiembre de 2010

1.	Resumen del proyecto de tesis	5
2.	Objetivos específicos	7
3.	Metodología	8
4.	Análisis del estado del arte	10
4.1.	Contexto normativo	10
4.2.	Conservación y la sostenibilidad.....	11
4.3.	Conservación de la ciudad histórica: enfoques y metodologías integrales	12
4.4.	La mejora de la habitabilidad del patrimonio edificado.	16
4.5.	Metodologías de estudio del comportamiento energético de la edificación tradicional.	17
4.6.	Toma de decisiones para la rehabilitación energética.....	27
4.7.	Herramientas software	32
5.	Aproximación energética-patrimonial a la ciudad histórica	35
5.1.	Características específicas del comportamiento energético de la edificación preindustrial.....	35
5.2.	Componente patrimonial de la estructura energética de la ciudad histórica.....	37
5.3.	Requerimientos para una metodología integral de la mejora energética.....	39
6.	Metodología para el estudio de la estructura energética de la ciudad histórica.	40
6.1.	Definición de los requerimientos	40
6.2.	La estructura sistémica de la unidad habitacional	41
6.3.	El estudio de la gestión tradicional.....	42
7.	Criterios para la toma de decisiones. Criterios de compatibilidad y coherencia con el carácter tradicional e histórico.....	43
7.1.	Criterios de coherencia.....	44
7.2.	Criterios de eficiencia energética	45
7.3.	Criterios de viabilidad.....	46
7.4.	Árbol de decisión.....	46
8.	Modelización de los procedimientos para la gestión de la eficiencia energética de la ciudad histórica.....	48
8.1.	Plan de rehabilitación energética	48
8.2.	Herramientas de soporte.....	49
9.	Propuesta del esquema metodológico general.....	54
9.1.	Propuesta del esquema metodológico general.....	56
9.2.	Diseño de la estrategia.....	64
9.3.	Sistema de Gestión	67
10.	Evaluación de la aplicabilidad en el caso de Santiago de Compostela.....	71
10.1.	Metodología de trabajo	71
10.2.	Resultados.....	72

11.	Conclusiones	73
12.	Bibliografía	74

Índice de Esquemas

Esquema 1: esquema de la metodología de trabajo	9
Esquema 2: metodología Patur	14
Esquema 3: técnicas de modelado (Fuente: Swan 2009).....	18
Esquema 5: método Rehabimed.....	22
Esquema 6: periodos constructivos según una aproximación energética (Fuente: Cantin et al. 2009)	24
Esquema 7: diferentes subsistemas de la edificación histórica (Fuente: Cantin et al. 2009) 25	
Esquema 8: árbol de decisión del proyecto Sechurba	30
Esquema 9: funcionamiento higrotermico de la edificación tradicional vs. La moderna (Fuente: English Heritage).....	36
Esquema 10: patologías ocasionadas por soluciones de rehabilitación poco adecuadas (Fuente Cantin and Guarracino).....	37
Esquema 12: ámbito de actuación en la rehabilitación energética.....	38
Esquema 13: estructura jerárquica de la metodología	40
Esquema 14: aproximación sistémica para la caracterización de la unidad habitacional tradicional.....	42
Esquema 15: árbol de decisión.....	47
Esquema 16: modelo teórico de la estructura del sistema	50
Esquema 17: arquitectura general del sistema	51
Esquema 18: estructura de los procesos.....	54
Esquema 19: esquema metodológico integral.....	55
Esquema 20: esquema de la generación de conocimiento a nivel estratégico.....	59
Esquema 21: estructura habitacional.....	60
Esquema 22: diseño de la estrategia.....	65
Esquema 23: diseño de la estrategia a nivel ejecutivo.....	67
Esquema 24: metodología de intervención	69

Índice de Tablas

Tabla 1: resumen de las características de las diferentes técnicas de modelado (Fuente: Swan 2009) 19	
Tabla 2: dimensiones de sostenibilidad según Vasques Fierro y Avellaneda	23
Tabla 3: estructura de los subsistemas (Fuente: Cantin et al. 2009)	27

1. Resumen del proyecto de tesis

“Pero, ¿qué es el casco histórico? ¿Qué conservamos cuando salvaguardamos su estructura, sus edificios, sus espacios? ¿Cuál es el patrimonio que debemos conservar? Desde la sostenibilidad, el objeto de salvaguarda del patrimonio excede y atraviesa el concepto tradicional de conservación; lo amplía de escala, le da dinamismo y pone el acento en valores distintos que deben ser recuperados y salvaguardados” (Cuchi2008)

Los ecosistemas naturales una vez que pasan una fase inicial de crecimiento y producción llegan a un nivel de madurez y sostenibilidad donde la diversidad, la regeneración y la estabilidad son favorecidas (Redclift 1987). Las ciudades históricas, análogamente, se desarrollan como sistemas urbanos complejos y su resiliencia y receptividad se perpetúa a través de un continuo proceso de equilibrio dinámico (Levine et al.2005).

La ciudad histórica, por tanto, se puede ver como un modelo de referencia de sostenibilidad, racionalidad y eficiencia urbana en su búsqueda de un equilibrio cercano al metabolismo biológico que busca el control del ciclo completo de energías y materiales mediante, entre otros, el uso y reutilización de materias primas autóctonas, renovables, biodegradables y no tóxicas (madera, piedra, tierra...) y el aprovechamiento de la energía solar (iluminación natural, inercia térmica...).

En este sentido, el patrimonio de la ciudad histórica, además de como una forma material, puede entenderse como un proceso, donde la autenticidad viene también dada, también, por la pervivencia del modelo de gestión de los recursos que la conformo. Es necesario entender los procesos históricos de adaptación y evolución de la ciudad histórica para diseñar las estrategias y actuaciones que hagan compatibles la conservación y la valorización del patrimonio con las mejoras de calidad de vida de sus habitantes permitiendo una conservación de la ciudad histórica sostenible.

La adecuada gestión de la energía es uno de los factores clave para la mejora de la habitabilidad, pero una aproximación energética a la ciudad histórica, además, puede permitir reformular los objetivos de intervención. La arquitectura tradicional siempre ha sido bioclimática por necesidad, hecha por la gente como respuesta directa a sus necesidades y valores (Coch 1998), en una época donde la energía era realmente cara. Esta arquitectura, que no ha sido lo suficientemente estudiada, es depositaria de una sabiduría validada por el método de “prueba y error”, que ha demostrado su capacidad de adaptación al medio. Resumiendo, se podría decir que la ciudad histórica lleva la sostenibilidad energética escrita en su código genético. Por lo tanto en vez de contraponer criterios de actualización y habitabilidad a la protección del patrimonio, podemos asumir que la sostenibilidad y la conservación de las ciudades históricas son procesos inseparables de su autenticidad energética-patrimonial.

Pero una recualificación energética de la ciudad histórica solo puede hacerse si se aborda desde la escala adecuada, abarcando desde una escala urbana hasta la escala de elemento, y si se desarrollan estrategias integrales que aborden el análisis, la toma de decisiones, la implantación de las mejoras y su posterior gestión. Para lo que es necesario herramientas que posibiliten una gestión sostenible del cambio como:

- Metodologías para el estudio y análisis de la estructura energética global de la ciudad histórica como sistema energético.
- Criterios definidos para apoyar la toma de decisiones a la hora de identificar actuaciones para la recualificación energética de la ciudad histórica desde la lógica interna de entender su metabolismo urbano.
- Una modelización de los procedimientos para la posterior implantación y seguimiento de la eficiencia energética a escala urbana.
- Una metodología integral que estructure todos los procesos de una forma iterativa y de mejora continua.
- Herramientas que apoyen y hagan viable la implantación y el seguimiento de esos procesos.

La presente propuesta metodológica pretende establecer los requerimientos y el esquema metodológico integral desde una aproximación energético-patrimonial específica para la ciudad histórica.

2. Objetivos específicos

El objetivo principal del presente trabajo es estudiar los aspectos específicos y diferenciales del acercamiento energético-patrimonial a la ciudad histórica y la propuesta de un esquema metodológico integral para la mejora y gestión de su eficiencia energética a escala urbana que establezca las bases para el estudio de su estructura energética, los criterios para la toma de decisiones y el diseño de las herramientas necesarias para la implantación y gestión.

Para ello se definen los siguientes objetivos específicos:

- Revisión crítica del estado del arte sobre la evaluación, toma de decisiones y la gestión energética de la edificación preindustrial.
- Establecer una aproximación energética-patrimonial propia de la ciudad histórica.
- Proponer el acercamiento metodológico integral que establezca los requerimientos y las bases para:
 - Una metodología para el estudio de la estructura energética de la ciudad histórica a escala urbana, de edificio y de elemento.
 - La identificación de los factores clave como forma de establecer los criterios para la identificación de actuaciones en la toma de decisiones para la recualificación energética de la ciudad histórica
 - La modelización de los procedimientos para la implantación y seguimiento de las mejoras y la identificación de los requerimientos para las herramientas necesarias.
- Evaluar la aplicabilidad del acercamiento metodológico en el caso de Santiago de Compostela

3. Metodología

El proceso para conseguir un esquema general contrastado se dividirá en cuatro fases:

- Fase I.** En la primera fase se realizara el análisis teórico de los aspectos energéticos específicos de la ciudad histórica, mediante el análisis crítico de la literatura existente. Principalmente se abordaran las siguientes cuestiones:
- a. El contexto normativo
 - b. La aproximación desde la conservación y la sostenibilidad.
 - c. Enfoques y metodologías integrales para la conservación de la ciudad histórica.
 - d. Las metodologías para la evaluación de la estructura energética desde la escala urbana a la escala de elemento.
 - e. La toma de decisiones en la rehabilitación energética
 - f. Herramientas de apoyo adecuadas para la edificación tradicional.
 - g. Los requerimientos energético/patrimoniales de la edificación preindustrial.
- Fase II.** Las conclusiones de la primera fase nos permitirá abordar la aproximación metodológica a tres niveles:
- a. Estudio de la estructura energética de la ciudad histórica.
 - b. Criterios para la toma de decisiones.
 - c. Modelización de los procedimientos de gestión.
- Fase III.** En la tercera fase se propondrá el esquema metodológico general que integre los tres niveles anteriores.
- Fase IV.** En la ultima fase se evaluara la aplicabilidad practica de la aproximación metodológica mediante el caso Santiago de Compostela

El proceso se esquematiza en el siguiente diagrama:



Esquema 1: esquema de la metodología de trabajo

4. Análisis del estado del arte

Para implantar políticas de conservación integrada del patrimonio histórico urbano, tal como dicta la Carta de Ámsterdam, es necesario además de la protección del tejido físico, tener en cuenta la protección del tejido social, reconociendo el derecho a los residentes a permanecer en la zona (Fernández Coronado González, 2004). La aproximación energética a la ciudad histórica puede ayudar a la revisión de los criterios de intervención tradicionales para la reformulación y adaptación de nuevos criterios capaces de integrar las necesidades de adaptación funcional del patrimonio urbano a las exigencias de calidad de vida actuales.

La rehabilitación energética se encuentra dentro las prioridades de la Unión Europea, desde la firma de la Carta de Leipzig (2007), que apuesta por el desarrollo sostenible de las ciudades a través de la mejora del rendimiento energético de los edificios existentes. Asumiendo sus determinaciones, el “Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación” (RD 2066/2008), está orientado “*hacia la sostenibilidad y eficiencia de toda actividad económica*” para la que, “*debe optimizarse el uso de la producción ya existente de viviendas y orientar todas las intervenciones tanto en la construcción de nuevas viviendas como en actuaciones de rehabilitación hacia la mejora de su eficiencia energética y de sus condiciones de accesibilidad*”. El Plan aborda la rehabilitación energética desde la concepción de “ecobarrios”, es decir, desde el conjunto formado por el edificio, su entorno y la ciudad y presta especial atención al patrimonio de los cascos históricos que necesitan de una aproximación particular, no contemplada por el marco normativo existente.

Según datos recogidos en el “Censo de Población y Viviendas 2001” del Instituto Nacional de Estadística, los edificios anteriores a 1940 representan el 21% de los edificios destinados principalmente a viviendas y el 50%, de los edificios en estado ruinoso, malo o deficiente (15% y 38% respectivamente si lo restringimos a los edificios anteriores a 1920). Si además contamos con que en 2008 estaban declarados BIC en España 872 conjuntos históricos y 13 ciudades patrimonio de la humanidad, la problemática de la rehabilitación energética en la edificación preindustrial en general y la de los centros históricos en particular es una cuestión que es necesario abordar.

4.1. Contexto normativo

Según la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa al rendimiento energético de los edificios, los Estados miembros deben aplicar requisitos mínimos en materia de rendimiento energético de los edificios nuevos o de los ya existentes, velar por la certificación del rendimiento energético de los edificios e imponer la inspección periódica de las calderas y los sistemas de climatización en los edificios. Sin embargo esta directiva tiene una excepción en el artículo 4 para ciertos edificios protegidos: “*edificios y monumentos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, cuando el cumplimiento de tales requisitos pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto*”. En algunos países esta excepción se ha tenido en cuenta, pero de forma restrictiva y sin incluir todo el patrimonio. En otros no se ha establecido ninguna excepción. Además, la versión revisada de la directiva del 2008, contiene una cláusula prohibiendo expresamente el uso de fondos públicos para los edificios que no cumplan con la normativa a partir de 2014: art 4 par 3

“Member States shall not provide incentives for the construction or renovation of buildings or parts thereof which do not comply with minimum energy performance requirements achieving the results of the calculation referred to in Article 5(2)”

A nivel del Estado Español, la protección del patrimonio histórico en España está regulada por el artículo 46 de la Constitución, de la que se derivan diversas leyes de las Comunidades Autónomas y la Ley de Patrimonio Histórico Español. El artículo 39 de ésta, y los equivalentes de aquellas, establece en su apartado 2 que, en el caso de los bienes inmuebles, las actuaciones sobre ellos irán encaminadas a su conservación, consolidación y rehabilitación. En la nueva Ley del Patrimonio Histórico de Andalucía de 2007, representativa de una nueva generación de leyes, en el artículo 20.3 ofrece en pocas palabras la clave de todo: *“Los materiales empleados en la conservación, restauración y rehabilitación deberán ser compatibles con los del bien. En su elección se seguirán criterios de reversibilidad, debiendo ofrecer comportamientos y resultados suficientemente contrastados. Los métodos constructivos y los materiales a utilizar deberán ser compatibles con la tradición constructiva del bien.”*

Derivándose también de la Constitución, desde 1999 la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) establece para todo el país las condiciones necesarias para construir edificios, o intervenir en los existentes, que se concreta, en 2007, en el Código Técnico de la Edificación (CTE). Su objetivo principal es dar garantías de seguridad y habitabilidad a los usuarios y apenas contemplan la protección de bienes, sean muebles o inmuebles. En el aspecto del fomento de la eficiencia energética, el Documento Básico DB-HE de ahorro de energía del CTE, tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo su consumo energético y utilizando para ello fuentes de energía renovable y es un medio para cumplir la Directiva 2002/91 que obliga a los Estados miembros a fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética para los edificios nuevos y para grandes edificios existentes que se reformen.

Sin embargo, en su detalle sólo se contempla, exclusivamente, las obras de nueva edificación y las técnicas de construcción actuales, y excluyendo, en la mayoría de los casos, a los edificios históricos protegidos. En los apartados de “Limitación de demanda energética” y “Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación”, según el CTE, quedan excluidos de su cumplimiento *“edificios y monumentos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, cuando el cumplimiento de tales exigencias pudiese alterar de manera inaceptable su carácter o aspecto”*. De la misma manera *“en rehabilitación de edificios, cuando existan limitaciones no subsanables derivadas de la configuración previa del edificio existente o de la normativa urbanística aplicable”* o *“cuando así lo determine el órgano competente que deba dictaminar en materia de protección histórico-artística”* la contribución solar mínima o la contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica pueden disminuirse justificadamente.

4.2. Conservación y la sostenibilidad

“We can not build our way to sustainability; we must conserve our way to it.” Carl Elefante, AIA, LEED-AP

Las tendencias actuales de conservación establecen la relación entre la conservación de edificios y programas de sostenibilidad mas amplios proponiendo que los edificios

históricos se entiendan no solo por su especial interés sino también por como funcionan sus sistemas constructivos (English Heritage, 2002).

En el ámbito urbano, el futuro de la ciudad sostenible puede entenderse como la recuperación de los aspectos clave de la ciudad preindustrial. Se puede decir, que el acercamiento conservación-sostenibilidad fue la norma de todas las civilizaciones hasta la industrialización y que en la autosuficiencia de la ciudad preindustrial pueden verse los valores de la ciudad sostenible (Rodwell, 2007), una ciudad compacta, densa, con mezcla de usos y economía en el uso del suelo y del resto de los recursos no renovables; una ciudad donde el peatón y la proximidad son la prioridad, y el transporte público es eficiente y bien integrado.

Por tanto, si nos basamos en la premisa de que la sostenibilidad y la conservación de las ciudades históricas son procesos inseparables (Rodwell 2007) al ser el sistema de la ciudad histórica intrínsecamente sostenible, la mejora energética y el respeto a su patrimonio no son criterios antagónicos, sino dos aproximaciones a la autenticidad energética de la ciudad histórica.

Desde la sostenibilidad se entiende que el ambiente histórico no se debe percibir más únicamente en términos culturales limitados, solamente por su interés arqueológico, arquitectónico e histórico. Por otra parte, el acercamiento conservacionista aumenta y se fortalece cuando la significación cultural del entorno histórico se alía a su capital ambiental (environmental capital) y el valor intangible de la diversidad cultural, con la gestión ambiental (environmental performance); lo que implica una reorientación, centrando el nuevo desarrollo urbano en el aumento del mantenimiento, la reutilización, la adaptación y la mejora de los edificios e infraestructuras construidas. No hay que olvidar, que el ciclo de vida y la funcionalidad del stock edificado dependen de su papel como combinación de ser un activo físico, social, económico y cultural. Esto implica que su ciclo de vida es una función de su valor social y económico y que por tanto puede ser prolongado indefinidamente si así se desea. (Ravetz 2008).

4.3. Conservación de la ciudad histórica: enfoques y metodologías integrales

“La pregunta “¿qué quiere decir conservar los centros históricos?” tiene respuestas todavía muy indefinidas, debido a la dificultad de conciliar la tradicional visión del patrimonio como algo estático, ajeno a todas instancias de cambio, con las dinámicas de transformación del marco edificado necesarias para la vitalidad de la ciudad.

A falta de recetas universalmente aceptadas, el acercamiento más interesante en el marco de la sostenibilidad, consiste en aceptar el “paradigma de la complejidad”, interpretando la ciudad histórica como una superposición de estratos en los que todas las épocas han dejado sus huellas, en la que cada selección supone una pérdida irreversible de documentos históricos. Todo es importante e irrenunciable, lo que conocemos a la hora de planificar y lo que todavía no conocemos, porque oculto o desconocido. El reto está en modificar sin destruir, añadiendo nuestra aportación en un lenguaje contemporáneo y reconocible reduciendo al máximo la destrucción del legado histórico.”. (Patur II. 2008)

En los años 70, ante el impacto de los procesos de transformación urbana, surge en Europa la práctica de la rehabilitación urbana como forma de conservación del patrimonio edificado. En este sentido, en la Convención de Patrimonio Mundial de 1972, la UNESCO

insta a todos los países miembros a establecer y activar medidas para la protección, conservación y presentación para la totalidad de su patrimonio mediante la adopción de una política general integrada dentro de programas de planificación comprensivos, haciendo especial énfasis en la importancia de la integración del patrimonio dentro de la vida social y económica.

El concepto de conservación integrada, que abarca tanto la conservación de aspectos tangibles como intangibles del patrimonio, nace en este contexto. El Consejo de Europa en 1975, establece la necesidad de incorporar los factores sociales y de garantizar la continuidad y diversidad social y cultural característica de la ciudad histórica. Desde el Plan de Bolonia de 1969, la conservación-recuperación de la ciudad histórica se entiende desde una política de equilibrio territorial entendiendo que el patrimonio edificado no solo comprende la riqueza arquitectónica, sino que engloba la actividad productiva, la población, los servicios, las infraestructuras...

En 2007, los ministros de desarrollo urbano de los países miembros de la Unión Europea, recogen en la “Carta De Leipzig sobre Ciudades Europeas Sostenibles” los principios y estrategias comunes para una política de desarrollo urbano. En ella, se reconoce las excepcionales cualidades de las ciudades europeas (cualidades culturales y arquitectónicas únicas, poderosas fuerzas de inclusión social, gran potencial para el desarrollo económico...), y la necesidad de mantener el equilibrio social, y de proteger su diversidad cultural y establecer una elevada calidad en lo que al diseño, la arquitectura y el medio ambiente. Esta visión se concreta en el compromiso de afrontar el desarrollo urbano desde un enfoque integrado, prestando especial atención a los barrios menos favorecidos dentro del contexto global de la ciudad y se traduce, entre otras, en la recomendación de “modernizar las redes de infraestructuras y la mejora de la eficiencia energética” además de “la búsqueda de estrategias para la mejora del medio ambiente físico”.

Si el patrimonio cultural está en permanente evolución y desarrollo, su conservación también deberá abordarse como un proceso continuo e inacabado de actualización, entendido desde el paradigma de la sostenibilidad. Las tendencias actuales, por tanto, se orientan a la identificación de nuevas herramientas de gestión más flexibles que los planes urbanísticos normalizados, que incorporen también los aspectos sociales y económicos que caracterizan el centro histórico y que faciliten la participación de todos los agentes implicados en la conservación del conjunto, desde las administraciones hasta los ciudadanos.

El proyecto Patur (Patur I), que tenía como objetivo el desarrollo de metodologías y herramientas innovadoras de apoyo a la toma de decisiones y a la gestión urbanística para la revitalización de cascos históricos, establecía los requerimientos a los que una metodología de gestión de los centros históricos debía responder:

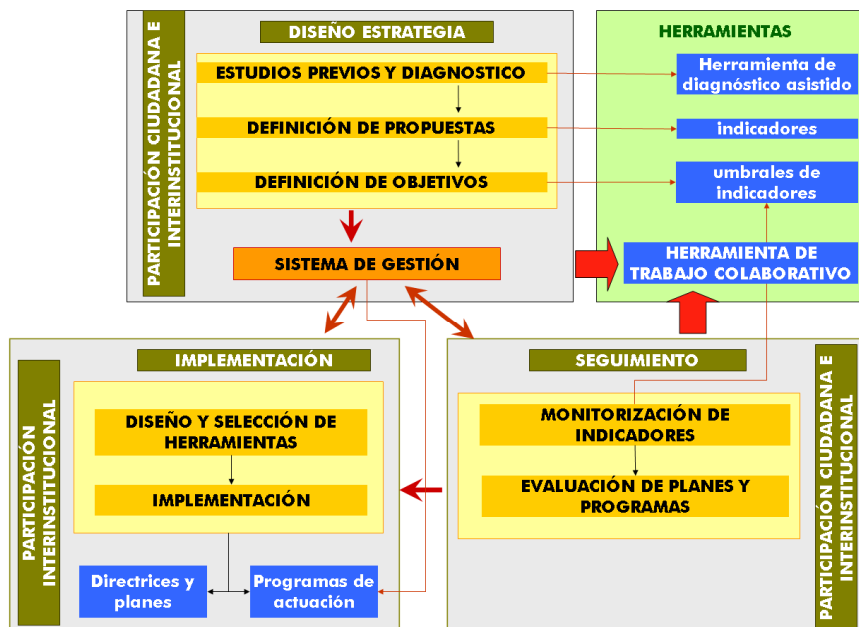
- 1. Acercamiento iterativo a los procesos de regeneración.** La gestión de los centros históricos tiene un ciclo de vida que empieza con la definición del acercamiento estratégico y abarca la propia implementación de la estrategia en planes y programas de actuación y garantiza el seguimiento necesario de las actuaciones propuestas y sus impactos en el centro histórico.
- 2. Acercamiento participativo en la toma de decisiones.** Cada vez más, la diversificación de los agentes públicos y privados que intervienen en el desarrollo de la ciudad requiere mayor comprensión de las dinámicas sinérgicas de

colaboración entre ellos y su inclusión en los procesos de regeneración. Por este motivo en la gestión de los centros históricos hay que identificar herramientas y procesos específicos para favorecer y canalizar su participación.

3. Acercamiento estructurado a las distintas fases de elaboración de los procesos de intervención. Los planes de regeneración suelen ser el resultado de una idea personal construida a partir de un diagnóstico de necesidades no estructurado. Esto comporta ciertas dificultades en un proceso participativo de toma de decisiones, ya que no permite abrir cada paso del mismo a los distintos agentes. Es necesario entonces racionalizar en la medida de lo posible los procesos de generación de estrategias y propuestas de actuación para estructurarlo en modelo abierto y compartido.

4. Acercamiento abierto a la organización de la información. La información de partida, recopilada en las fases de diagnóstico, tiene que ser abierta y disponible para todos los agentes que intervienen en el proceso de toma de decisión. Asimismo, dependiendo de la fase de ejecución del proyecto, se tienen que prever los mecanismos que permitan ampliar y mejorar la información de base incorporando sugerencias por parte de los agentes implicados. La información compartida constituye la base de todos los proyectos participativos.

Con este enfoque, el proyecto entendía que la gestión participativa de los centros históricos se desarrollaba como un proceso dialéctico y continuo entre la definición de la estrategia de intervención (la implementación en planes y programas) y el seguimiento de las mismas, según el siguiente esquema:



Esquema 2: metodología Patur

La metodología de gestión participativa se articulaba en tres subprocesos y se apoyaba para su desarrollo en un paquete de herramientas integrado con el propio sistema que permitía dar soporte al desarrollo y continuidad del proceso. Los subprocesos eran los siguientes

- **Subproceso 1: Diseño de la estrategia.** Se desarrolla en 3 fases:
 - a) Estudios previos y diagnóstico: se desarrollan los estudios necesarios para el conocimiento integral del centro histórico y la evaluación de su estado de conservación. Los resultados de esta primera medición servirán de referencia para definir los objetivos estratégicos del plan y para el seguimiento de su efectiva consecución. En esta fase se realiza la primera medición de los indicadores, que se denomina T0. Los resultados de esta primera medición servirán de referencia para definir los objetivos estratégicos del plan y para el seguimiento de su efectiva consecución
 - b) Definición de propuestas: se elaboran las propuestas concretas de actuación para la regeneración del centro histórico.
 - c) Definición de objetivos. Una vez seleccionadas y definidas las propuestas se establecerán los objetivos concretos de cada una y los plazos previstos para su puesta en marcha. Para asegurar un proceso fiable de seguimiento de los resultados, se definirán los valores que se quieren que alcancen los indicadores de referencia. (Ti)

- **Subproceso 2: Implementación de la estrategia.** Se desarrolla en 2 fases:
 - a) Diseño y selección de herramientas. De acuerdo con las propuestas y objetivos establecidos en la fase anterior se realizará una valoración de las necesidades en cada caso y se diseñarán de forma integral y coordinada, las herramientas más adecuadas que incluyan gestión, ejecución y protección.
 - b) Implementación. La implementación se llevará a cabo mediante directrices, planes y programas de actuación. Las directrices desarrollarán objetivos amplios, líneas de intervención a largo plazo que orientarán y coordinarán los planes y los programas de actuación. Los planes implementarán objetivos y/o aspectos concretos cuya programación sea fundamentalmente a medio plazo (entre cuatro y ocho años). Por su lado los programas de actuación implementarán objetivos a corto plazo (acciones inmediatas) y corregirán las desviaciones que los planes sufren en su desarrollo.

- **Subproceso 3: Seguimiento de la estrategia.** Se desarrolla en 2 fases:
 - c) Monitorización de indicadores. Se realizarán mediciones periódicas (Tn) previamente programadas aplicando el sistema de indicadores para controlar la evolución de los valores con respecto a los umbrales predefinidos (Ti)
 - d) Evaluación de los Planes y Programas. Cada plan que se desarrolle deberá llevar asociado su propio sistema de monitorización y evaluación. Se realizarán mediciones periódicas (tn) de cada uno de los planes de acuerdo con su sistema de indicadores asociado.

La estructura del sistema de gestión, por su parte, se recogía en la Guía de Gestión (Patur II) y se estructura en 5 bloques operativos:

- Movilización coordinada de recursos
- Movilización y sensibilización de actores
- Puesta en marcha de la gestión
- Conservación del Patrimonio Histórico Urbano (PHU)
- Actividades y servicios

En esta misma línea, pero refiriéndose a la totalidad del stock edificado, Ravetz (Ravetz 2008) establece la misma necesidad de una visión integral que equilibre costes y beneficios sociales, económicos y ambientales si se desea conseguir el potencial de mejora del stock edificado. Esta gestión y mejora estratégica del stock edificado deberá cumplir los siguientes requisitos:

- La coordinación activa de los diferentes agentes (diseñadores, constructores, usuarios...)
- Abordarlo desde la escala adecuada (desde el elemento al barrio)
- Tener en cuenta los patrones de comportamiento de los usuarios

4.4. La mejora de la habitabilidad del patrimonio edificado.

El trabajo desarrollado por el ICOMOS definiendo los criterios de intervención en los centros históricos, se plasmaron en la en la Carta de Washington de 1987. En dicha carta se establece que entre los valores a conservar están también las diversas funciones de la ciudad, adquiridas en el curso de la historia y que el paisaje histórico es el resultado complejo de los cambios de uso y de la evolución de la ciudad.

En la ciudad histórica, como en todo sistema complejo, los cambios en los contextos culturales deben traer una renovación e incluso una recreación de su significado. (Funtowics et al 1997). La experiencia europea nos demuestra que uno de los valores de los cascos históricos es su capacidad de mutación, de adaptación a las necesidades de diferentes épocas (Patur I). Por tanto la ciudad histórica debe continuar dentro del proceso de mejora y adaptación que le ha permitido permanecer en el tiempo y esto debe incluir la actualización de su función como sistema tecnológico para habitar.

En este aspecto, la continuidad del proceso de conservación de la ciudad histórica, más allá de limitarse a las políticas de conservación del patrimonio debe relacionarse, también, con las políticas de vivienda soportadas naturalmente en las características esenciales su arquitectura. Esto solo puede ser viable desde procesos constructivos coherentes tecnológicamente con la realidad física de los edificios históricos y en el marco de complejos proyectos urbanísticos (Panero, 2009). Como respuesta a esta necesidad de mejora de la habitabilidad del patrimonio edificado surge lo que se ha venido en llamar rehabilitación funcional de segunda generación, donde la mejora de su eficiencia energética y el aumento de los niveles de confort son dos aspectos claves. La mejora de la habitabilidad, por tanto, es un factor intrínseco del proceso de conservación de la ciudad

histórica, “*dónde aproximaciones medioambientales y de eficiencia energética, más allá de la estricta protección y recuperación del patrimonio, son capaces de formular modelos de crecimiento dinámicos e innovadores profundamente fundamentados en criterios sostenibles de desarrollo válidos para la ciudad entera*” (Panero, 2009).

Dentro de este contexto, el patrimonio es también una herencia funcional (Marat et al. 2010), una sabiduría en la gestión del metabolismo urbano, que permitía mediante un modelo técnico-orgánico la obtención de los recursos necesarios para la reproducción social. En este modelo la función estaba estrechamente ligada a la configuración de los elementos técnico-funcionales de la ciudad histórica, por lo que en muchos casos al perder su funcionalidad estos elementos se convirtieron en simples piezas a conservar y museizar.

Sin embargo, en el caso de la función habitacional de la ciudad histórica, la función para la que se diseñó inicialmente se ha conservado hasta nuestros días, dándonos la oportunidad de contribuir en su evolución, reinterpretación y adaptación a las exigencias actuales. En este sentido la mejora de la habitabilidad, desde el punto de vista energético, aparece como uno de los puntos clave abordar, por su exigencia económica, medioambiental y social.

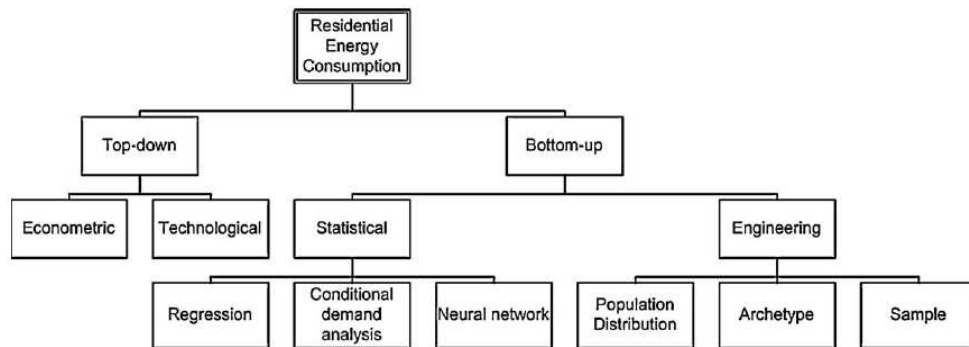
4.5. Metodologías de estudio del comportamiento energético de la edificación tradicional.

El primer paso para conseguir la actualización de la sostenibilidad intrínseca de la ciudad histórica es su estudio y caracterización. Sin embargo, uno de los mayores problemas a la hora de estudiar la edificación histórica es la falta de “sistemas” y/o “estructuras” conceptuales específicas (Hanna 2000). La literatura referente al estudio energético de la edificación tradicional de forma específica no es demasiado extensa. El análisis del estado del arte en este punto lo hemos desarrollado en los siguientes aspectos:

- Técnicas de modelado energético
- Metodologías de estudio energético de la ciudad histórica a escala urbana
- Estudio de la Unidad Habitacional como sistema
- Escala elemento: subsistemas

4.5.1. Técnicas de modelado energético

El modelado energético busca cuantificar los requerimientos energéticos como función de parámetros de entrada, y puede servir tanto para determinar el suministro energético a macroescala como para comprobar la mejora de comportamiento debido a una rehabilitación a microescala. El cuantificar el consumo y el predecir el impacto del ahorro debido a medidas de rehabilitación, a nuevas tecnologías o a materiales, nos permitirá adoptar decisiones tan importantes para la gestión energética de un centro histórico como el suministro de energía, las ayudas a la rehabilitación, la priorización de actuaciones, las medidas adecuadas, posibles cambios normativos... El esquema de las diferentes técnicas de modelado es el siguiente (Swan et al 2009):



Esquema 3: técnicas de modelado (Fuente: Swan 2009)

Principalmente se dividen en dos categorías: técnicas de “arriba abajo” (Top-down) y técnicas de “abajo arriba” (Bottom-up). El primer enfoque trata al sector de la vivienda como un sumidero de energía y no distingue el consumo de usos finales individuales. Permite determinar el efecto debido a cambios a largo plazo en el consumo del sector residencial, fundamentalmente con el fin de determinar las necesidades de suministro. Las variables que son comúnmente utilizadas por estos modelos incluyen indicadores macroeconómicos (Producto interno bruto, tasas de empleo...), condiciones climáticas, la construcción y demolición de viviendas, las tarifas energéticas, y las estimaciones sobre el número de aparatos en el sector residencial.

Pero para nuestro objetivo son más interesantes los modelos con el enfoque de “abajo-arriba”, ya que son modelos que utilizan datos de entrada de un nivel jerárquico inferior a la del sector en su conjunto por lo que permiten explicar el consumo de energía de viviendas individuales, o grupos de casas. Extrapolando los datos de la muestra sobre la base del peso representativo podemos tener el modelo a nivel de región o nación. Estas técnicas se dividen a su vez en métodos estadísticos y métodos de ingeniería.

Los métodos estadísticos (SM) se basan en información histórica y tipos de análisis de regresión. Una vez que las relaciones entre los usos finales y el consumo de energía se han establecido, el modelo puede ser utilizado para estimar el consumo de energía viviendas representativas de la población residencial. A su vez se dividen en: Regresión, Análisis de la demanda condicional (CDA) y Redes neuronales (NN)

Sin embargo son más interesantes los métodos de ingeniería (EM), ya que tienen en cuenta de forma explícita para el cálculo de la demanda las potencias y usos de equipos y sistemas y/o las transferencias de calor y las relaciones termodinámicas. Este alto nivel de detalle da la capacidad de modelar las diferentes opciones tecnológicas, y como puede determinar el consumo de energía de cada uso final puede identificar áreas de mejora. Además puede determinar el consumo total de energía de las viviendas sin datos históricos.

El principal inconveniente de estos métodos es el alto nivel de detalle necesario. El requisito de entrada de datos es mayor que en los modelos top-down por lo que el cálculo de los modelos puede ser complejo. Los modelos ascendentes deben ser extrapolados para representar el sector de la vivienda. Esto se logra usando una ponderación para cada casa modelo o grupo de casas sobre la base de su representación del sector.

Una capacidad importante del enfoque bottom-up, y uno de los requisitos que debe cumplir nuestra metodología, es su capacidad para abordar explícitamente el efecto de la conducta de los ocupantes y el hecho de tener en cuenta las ganancias como las ganancias

solares pasivas, históricamente descuidadas en el análisis residencial, pero que son imprescindibles a la hora de abordar la ciudad histórica.

Los métodos de ingeniería (EM) se clasifican en:

- Distribución de la población
- Arquetipos
- Muestra.

El método de la distribución se basa en utilizar la distribución de equipos y su uso para el cálculo del consumo de energía final. Los usos finales se suele calcular por separado y no se tiene en cuenta las interacciones entre los usos finales.

El método de los arquetipos es especialmente interesante para estudiar energéticamente la ciudad histórica. Con esta técnica se clasifica el parque edificado de acuerdo a parámetros representativos. De esta forma se desarrollan definiciones de arquetipo para los tipos de edificio más representativos y se utilizan estas descripciones como los datos de entrada de la modelización energética.

Parekh (Parekh 2005) describe el proceso para desarrollar arquetipos para la simulación energética. El autor identifica tres criterios básicos para generar los arquetipos: las características geométricas, las características térmicas y los parámetros operativos. Jones et al. (Jones 2001) desarrollaron un modelo de predicción energética y ambiental utilizando técnicas de GIS y ampliando la información de los arquetipos con estudios “drive-pass”.

En la tabla siguiente se resumen las ventajas y desventajas de los tres enfoques:

Table 3
Positive and negative attributes of the three major residential energy modeling approaches.

	Top-down	Bottom-up statistical	Bottom-up engineering
<i>Positive attributes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Long term forecasting in the absence of any discontinuity • Inclusion of macroeconomic and socioeconomic effects • Simple input information • Encompasses trends 	<ul style="list-style-type: none"> • Encompasses occupant behaviour • Determination of typical end-use energy contribution • Inclusion of macroeconomic and socioeconomic effects • Uses billing data and simple survey information 	<ul style="list-style-type: none"> • Model new technologies • “Ground-up” energy estimation • Determination of each end-use energy consumption by type, rating, etc. • Determination of end-use qualities based on simulation
<i>Negative attributes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Reliance on historical consumption information • No explicit representation of end-uses • Coarse analysis 	<ul style="list-style-type: none"> • Multicollinearity • Reliance on historical consumption information • Large survey sample to exploit variety 	<ul style="list-style-type: none"> • Assumption of occupant behaviour and unspecified end-uses • Detailed input information • Computationally intensive • No economic factors

Tabla 1: resumen de las características de las diferentes técnicas de modelado (Fuente: Swan 2009)

Como resumen se puede concluir que los enfoques de modelado “top-down” se utilizan para el análisis de suministro sobre la base de proyecciones a largo plazo de la demanda energética teniendo en cuenta los datos históricos. Las técnicas estadísticas “bottom-up” se utilizan para determinar la contribución a la demanda de energía de los usos finales que, incluyendo aspectos de comportamiento de los usuarios sobre la base de datos obtenidos de las facturas de energía y encuestas simples. Los métodos de ingeniería “bottom-up” se utilizan para calcular explícitamente el consumo energético sobre la base de descripciones detalladas de un conjunto representativo de viviendas, con la ventaja que estas técnicas tienen la capacidad de determinar el impacto de las nuevas tecnologías.

El método de los arquetipos es el utilizado por el proyecto “The Canadian Urban Archetypes” que investiga la relación entre la forma urbana, las formas de vida de sus residentes y el consumo de energía asociado a escala urbana (Webster 2007)

4.5.2. Estudio energético de la ciudad histórica a escala urbana

La escala operativa, histórica y contemporánea, para abordar la implementación de las mejoras energéticas y su posterior gestión es la de barrio, ya que todo el potencial del uso eficiente de los recursos solo se puede obtener con acercamientos a esa escala (Koch 2009). Son tres los aspectos que se pueden considerar:

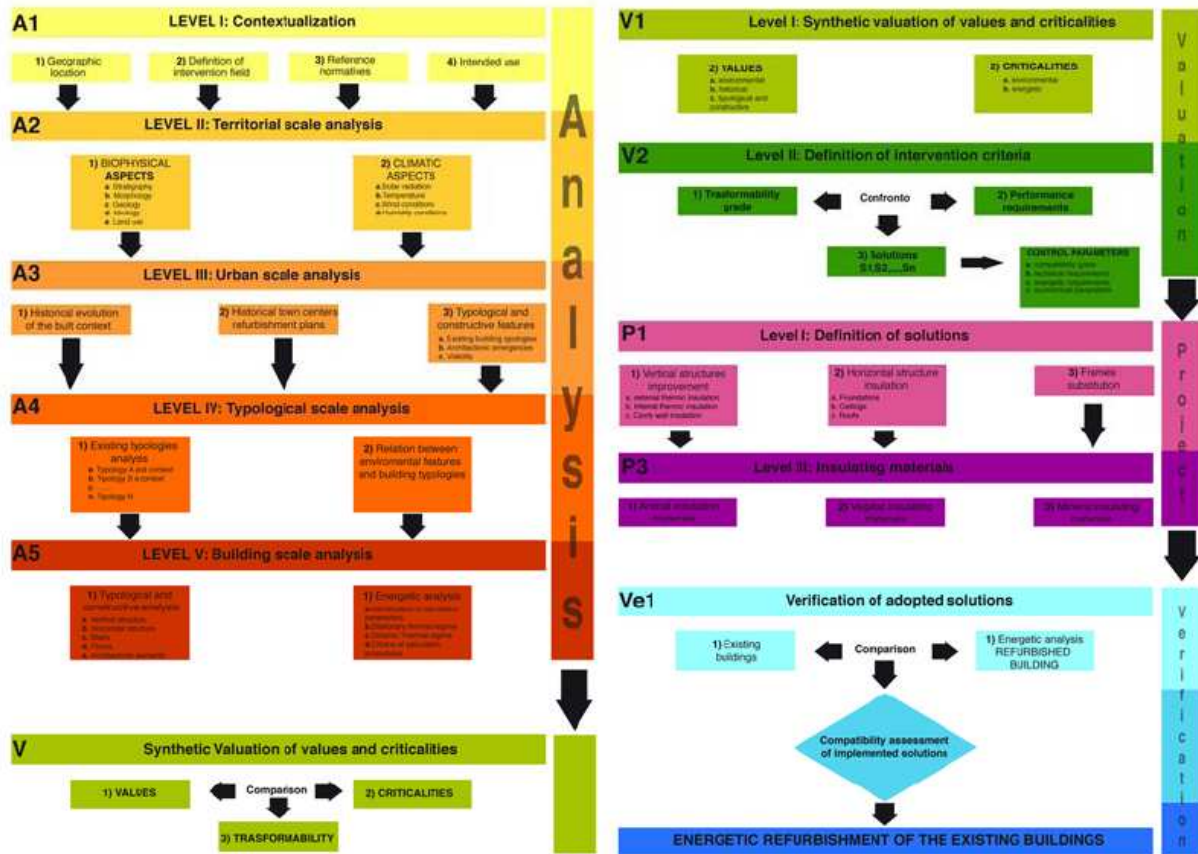
- La escala de los sistemas de abastecimiento: ciertas medidas o tecnologías no son viables a escala de pequeños consumidores.
- Aspectos energéticos específicos de la morfología urbana
- La usabilidad asociada de la energía

Particularizando para la edificación histórica, se puede utilizar los mismos argumentos: la escala de la mejora de la eficiencia energética es la de centro histórico. Intervenir para mejorar la eficiencia energética puede ser muy complejo y, hasta contraproducente, si se aborda únicamente desde la escala del edificio, es necesario entender el edificio dentro de un sistema de relaciones mucho más amplio. Otras razones:

- Permite entender el edificio como parte de un sistema mayor
- Permite compensar las restricciones de integridad material y formal de algunos edificios
- Posibilita la elección de lugares para la instalación de fuentes de energía renovables sin poner en peligro la protección del paisaje

En el congreso SB10mad 2010: Congreso Regional Internacional “Edificación sostenible. Revitalización y rehabilitación de barrios” también se concluyó que *“Un sector (el de la rehabilitación) que debe entender que los problemas a los que se enfrenta tienen escala urbana, una escala en la que se expresan – y así deben ser reconocidas y planteadas- cuestiones productivas y territoriales que más allá de lo local, para engarzarse con los problemas globales a los que nos enfrentamos. Una escala que define las herramientas y los objetivos que debe utilizar el sector”*.

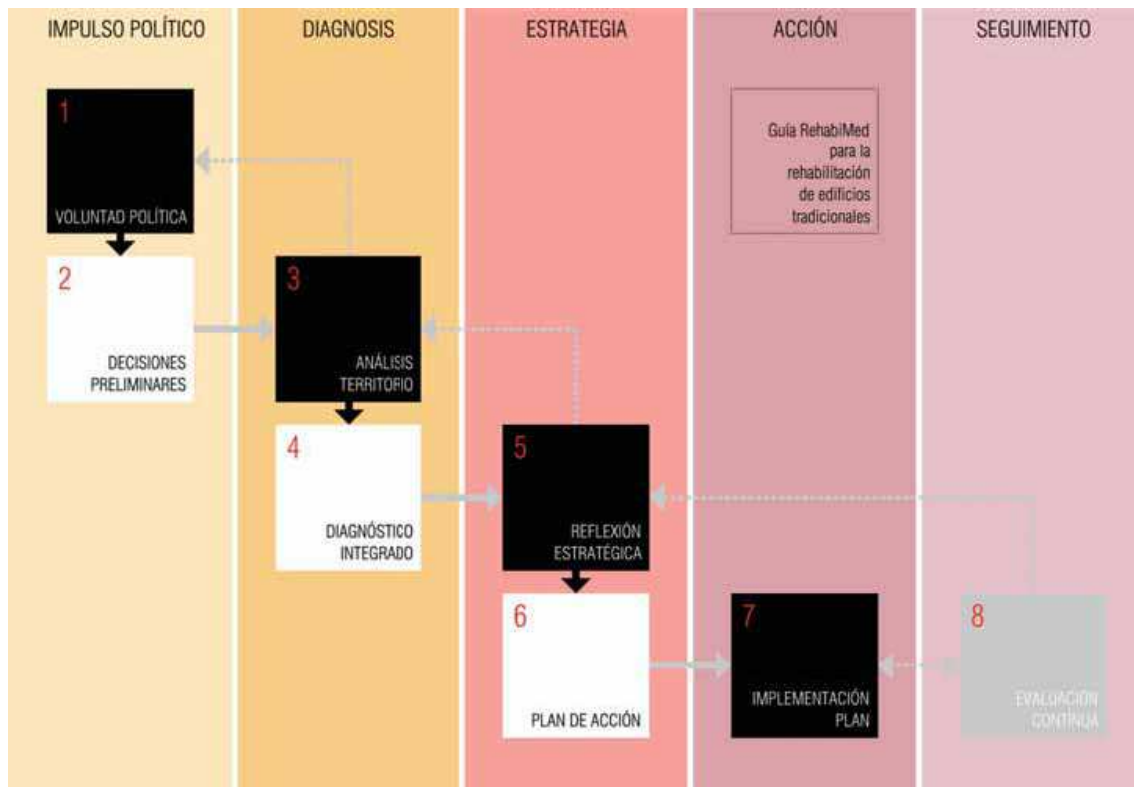
Sin embargo apenas hay literatura sobre metodologías que abarquen el estudio energético de la ciudad histórica a nivel urbano. Uno de los pocos casos es la línea de investigación que desarrolla el departamento de Arquitectura y Urbanística del Politécnico de Bari (Vita 2010) cuyo objetivo es definir un acercamiento metodológico a la rehabilitación energética y ambiental del patrimonio histórico consolidado para la identificación de las intervenciones para la mejora de su comportamiento energético. Como resultado se han definido los procedimientos adecuados y las propuestas operativas en forma de directrices, catálogos de buenas prácticas, que se traducen en un manual informático para la intervención y la detección y experimentación de soluciones tecnológicas. El esquema general de este algoritmo metodológico es el siguiente:



Esquema 4: algoritmo metodológico (Fuente: Vita 2010)

No intenta ser una metodología rígida sino un “ruta” operativa, articulada en fases consecutivas, que intentan abarcar desde un marco amplio hasta un conocimiento profundo del edificio.

Otra metodología que aborda la escala urbana es el Método Rehabimed para la Rehabilitación de la Arquitectura Tradicional del Mediterráneo. Fue el resultado de un proyecto del programa europeo Euromed Heritage, surgido como programa cultural tras la conferencia de Barcelona de 1995, liderado y coordinado por el Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. El método tiene como objetivos ordenar y sistematizar las etapas del proceso de rehabilitación (de la voluntad política a la ejecución y evaluación de la acción), identificar aquellas herramientas e instrumentos a considerar (técnicas, administrativas y legales) para su óptima gestión y desarrollo y, definir los criterios que permitan reflexionar sobre los problemas y las estrategias a establecer para garantizar el éxito del proceso. El método, está dirigido a todos aquellos actores implicados en el proceso de rehabilitación, pero sobretodo a los poderes públicos y a los técnicos encargados de coordinar y gestionar su aplicación. Su esquema general sería el siguiente:



Esquema 5: método Rehabimed

Otro ejemplo, menos aplicable a nuestro caso al estar centrado en la arquitectura más vernácula, es la “Metodología de Evaluación para la Rehabilitación, Gestión y Conservación Sostenible de la Arquitectura Tradicional”. Esta metodología, desarrollada por Vasques Fierro (Universidad Austral de Chile) y Avellaneda (Universidad Politécnica de Catalunya), que propone abarcar la proporción de cada escala habitable involucrada en la composición espacial de la estructura de los asentamientos vernáculos, desde la incorporación de los Ámbitos de Habitabilidad, que son necesarios para contextualizar la medida y escala como las dimensiones de los posibles vectores de rehabilitación. Siendo estos ámbitos:

- Ámbito Público dado por la Escala Urbana
- Ámbito Intermedio, medido por los espacios de traspaso, vinculación y pausa
- Ámbito Privado, dado por la escala de la vivienda.

Su objetivo es la realización de una caracterización que esta orientada a definir actuaciones de rehabilitación y revitalización que sean particularizadas, de acuerdo a tipologías de uso, tipo de presión humana y las demandas puntuales de los habitantes, en el ámbito de la escala pública, escala intermedia y escala privada. Los ámbitos de análisis se estructuran de acuerdo a las siguientes dimensiones de sostenibilidad:

Ámbito ecológico	Relaciones Macro y Micro territoriales Parámetros Ambientales - Riesgos naturales
Ámbito cultural	Contexto histórico-territorial Evolución histórica de la estructura social y económica Sistemas de autoproducción y servicios
Ámbito arquitectónico	Parámetros de confort y ámbitos de habitabilidad Análisis del entorno construido Reconocimiento e Identificación de la estructura espacial organizativa Evaluación de las fortalezas y debilidades de los sistemas constructivos, generando los vectores arquitectónicos de rehabilitación

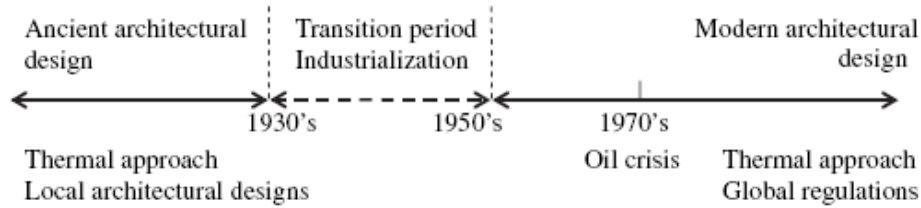
Tabla 2: dimensiones de sostenibilidad según Vasques Fierro y Avellaneda

4.5.3. Escala edificio: Estudio de la Unidad Habitacional como sistema

Según Pianezze el conocimiento de los edificios antiguos debe organizarse en tres pasos:

1. El primer paso es entender el edificio en su entorno. Esta investigación debe abordada desde un enfoque sistémico, donde los datos iniciales deben estar constituidos por:
 - a. las características de los edificios
 - b. su relación con la historia del lugar
 - c. la economía y la organización social de la que los edificios son su expresión
 - d. las condiciones macro y microclimáticas
2. El segundo paso es la evaluación de “comportamiento energético global” del edificio y la incidencia que tienen en ese comportamiento los materiales, las técnicas constructivas, las morfologías y las soluciones tradicionales de confort.
3. El tercer paso es la identificación de soluciones apropiadas para la conservación de los edificios (como testimonios de cultura y de gestión de recursos del territorio que no son reproducibles) además de la mejora de su comportamiento. Para esto es necesario el análisis de soluciones constructivas y técnicas tradicionales (de mantenimiento, reparación e integración), pero también el análisis de soluciones innovadoras para la su mejora “pasiva” (defensas contra la humedad, mejoras del aislamiento, reducción de las pérdidas de calor...) y “activa” (fuentes de energía renovable, sistema de enfriamiento pasivos...) de bajo impacto.

Dentro de la escasa bibliografía existente, uno de los estudios más interesantes realizados sobre la edificación tradicional es el estudio de campo realizado durante un año en 11 edificios franceses para determinar su comportamiento energético específico, monitorizando las temperaturas y la humedad relativa (Cantin et al. 09). Este mismo estudio, caracteriza desde el punto de vista energético el parque edificado en tres periodos principales, dejando patente la singularidad energética de la edificación tradicional:



Esquema 6: periodos constructivos según una aproximación energética (Fuente: Cantin et al. 2009)

Un acercamiento sistémico posibilitó estudiar la complejidad del diseño arquitectónico preindustrial analizando siete subsistemas y estudiando su interacción. El estudio de las viviendas tradicionales se completó con una vivienda moderna para poder analizar las diferencias desde el punto de vista energético. El estudio comprobó que el consumo energético de estos edificios era menor que la media del parque edificado y que había una fuerte correlación entre el ambiente exterior e interior, mucho mayor que en edificaciones más modernas. Los resultados de esta investigación concluyeron que los edificios tradicionales son sistemas interactivos con propiedades bioclimáticas más complejas que los edificios más modernos y no necesariamente peores desde el punto de vista energético. Su diseño tiene en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde se ubican para mantener el confort térmico sin sistemas mecánicos.

En este sentido el documento “Building Regulations and Historic Buildings Balancing the needs for energy conservation with those of building conservation: an Interim Guidance Note on the application of Part L” (English Heritage, 2002) propone que los edificios históricos se entiendan y valoren por su funcionamiento: como sus materiales tradicionales permeables se relacionan con los movimientos de aire y humedad y como de fácil es deteriorar este equilibrio con soluciones estándares pensadas para edificación más moderna. Por tanto, sostiene que la conservación de energía debe ser abordado de forma holística, buscando mejoras de mínima intervención donde los efectos son demostrablemente benignos en vez de soluciones más habituales pero más invasivas.

Aunque existen ejemplos de estudios energéticos de edificios históricos, faltan “estructuras y/o sistemas” conceptuales específicos para este tipo de edificios (Hanna 2000). A continuación describiremos algunos ejemplos de estudios energéticos de edificios históricos, que se pueden dividir en tres categorías:

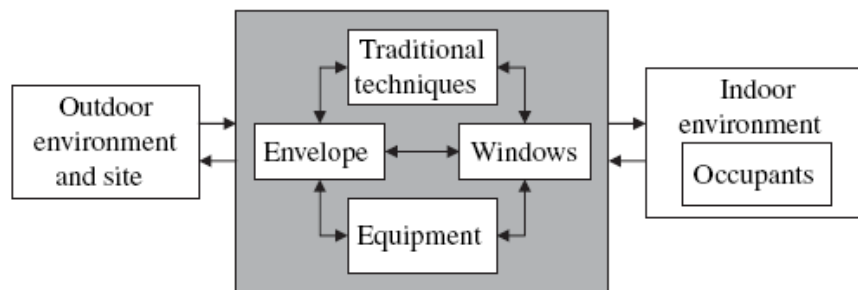
1. Estudios de campo/monitorización
2. Simulaciones
3. Modelo mixto

Estudio de campo/monitorización

Dada la falta de estudios con datos reales en el campo de la edificación tradicional, es la forma más fiable de conseguir análisis precisos de su comportamiento energético. En el estudio de campo del comportamiento térmico de edificios históricos de Francia (Cantin et al. 2009) antes mencionado, se seleccionaron como ejemplos a estudiar 11 edificios de diferentes zonas de Francia. La muestra estaba compuesta por 10 edificios históricos y uno del año 2004 que cumplía con la normativa térmica Francesa del año 2000. Los criterios que se utilizaron para la selección de los casos:

- La composición estructural de su envolvente
- Técnicas constructivas
- Características geométricas
- Localización dentro de la trama urbana
- Ratios de acristalamiento
- Orientación
- Diseño de las ventanas

El estudio partió de considerar la edificación tradicional como un sistema abierto que incluía múltiples interacciones entre el edificio y su entorno, por lo que no consideraba estudiarlo desde el acercamiento analítico, sino desde un acercamiento sistémico que permitía la consideración interdisciplinaria de diferentes niveles de complejidad y siete subsistemas.



Esquema 7: diferentes subsistemas de la edificación histórica (Fuente: Cantin et al. 2009)

Este estudio es especialmente interesante por dos razones: se estudian suficientes casos como para poder sacar conclusiones sobre la edificación tradicional y su enfoque sistémico permite tener una visión global del edificio pero también incluir en la investigación la totalidad de los elementos y estudiar su interdependencia.

En el estudio ambiental del edificio de la Escuela de Arte de Glasgow (Hanna 2000) la metodología empleada consta de tres fases y contrasta las medidas objetivas (monitorización) con medidas subjetivas de los usuarios (cuestionarios de confort). Las fases son las siguientes:

- Estudio descriptivo
- Estudio social y psicológico
- Estudio ambiental

Estudio mediante simulación

La simulación del comportamiento energético de las edificaciones tradicionales todavía no es toda lo precisa que debería ser, pero se compensa con su facilidad y economía. En este sentido, un estudio interesante por el ámbito donde se realiza, es el realizado por Rodríguez Alvarez (Rodríguez Alvarez2010), para el desarrollo de una metodología para abordar programas de rehabilitación energética sobre el tejido residencial construido. Para ello estudio diferentes tipologías de edificaciones de Galicia, combinando cálculos simples con

simulaciones realizadas con EDSL TAS. De las cuatro tipologías elegidas una es la de la ciudad histórica y los pasos que sigue para su estudio:

1. Estudio de los datos climáticos y la descomposición del uso de la energía como base para emprender futuras simulaciones.
2. Definición de las características esenciales de cada uno de los grupos tipológicos, con la finalidad de acotar y clarificar los criterios de intervención.
3. A través de los estudios paramétricos se profundiza en el potencial rendimiento de las técnicas de rehabilitación, desde las más comunes hasta las menos consolidadas.
4. Se contrasta el aprendizaje obtenido de esos estudios con las simulaciones informáticas, que confirman la validez de las hipótesis y dan más información sobre la eficacia de las medidas estudiadas.

El estudio concluye en la necesidad de evaluaciones previas ante la implementación de políticas energéticas sobre el parque de viviendas ya que no se pueden generalizar potenciales de ahorro sin un conocimiento previo de las técnicas y una clara clasificación tipológica.

Modelo mixto

La posibilidad de monitorización y su posterior simulación puede darnos la información mas completa. Esta es la forma en la que Cardinale et al. (Cardinale et al. 2010) analizaron el comportamiento energético de edificios “hipogeos” en el distrito Sassi de Matera (edificios sin rehabilitar, recientemente rehabilitados y ya en uso). El resumen de su acercamiento metodológico puede ser el siguiente:

1. Monitorización de parámetros termo-higrométricos, realizados en varias campañas de medidas en periodos de 8 días. Se midieron parámetros interiores y exteriores (t^a de bulbo seco y húmedo, t^a de rocío, humedad relativa, t^a radiante media y velocidad del aire) y parámetros ambientales (temperatura y humedad relativa del aire y radiación global solar del plano horizontal)
2. Calculo del confort interior (los índices de confort PMV y PPD)
3. Simulación paramétrica dinámica mediante EnergyPlus, con el objetivo de validar el software en el caso de los hipogeos y cuantificar y analizar varias configuraciones de planta a lo largo de un año. La validación se realizó comparando los resultados obtenidos por el software con los resultados de las campañas manuales en condiciones idénticas.

4.5.4. Escala elemento: subsistemas

Otra de las consecuencias de la falta de conocimiento específico del comportamiento energético de la edificación tradicional a nivel de elemento es la consecuente falta de caracterizaciones precisas de los materiales y elementos característicos, que posibilitarían una simulación más precisa de su comportamiento, no resultando tan penalizada energéticamente como ocurre actualmente al aplicarle valores por defecto de la edificación moderna. La investigación en la evaluación energética a escala de elemento debería tener por tanto como objetivo la creación de metodologías que posibiliten su caracterización y posterior creación de librerías.

En el estudio antes mencionado (Cantin et al. 2009), se estudiaron los subsistemas de acuerdo a esta estructura:

Organisation of collected data with subsystems.

Subsystems	Data collected	Physical measures
Outdoor environment and site	Geographical parameters (latitude, longitude, altitude) Climate zone, average radiation Local climate, exterior temperature and relative humidity, site description (vegetation, urban area, solar masks), orientation Structural type, horizontal and vertical thermal bridge	Field measurements Web data (Satel-Light) Recorded and monitoring data
Traditional techniques Envelope	Physical characterisation of walls (conductivity, volumetric mass, thermal capacity)	Field measurements, thermographs Field measurements, bibliographical sources
Windows	Window type, glass, size, surface, thickness, air infiltration	Field measurements, thermographs
Equipment	HVAC characterisation, energy consumption, lighting fittings	Field measurements questionnaires, energy invoices
Indoor environment	Plans, sections, façades, thermal zones (heating zones or not)	Field measurements
Occupants	Occupation and HVAC scenarios (day, week, year)	Questionnaires

Tabla 3: estructura de los subsistemas (Fuente: Cantin et al. 2009)

Se monitorizaron parámetros físico-térmicos durante un año, completándose la investigación con termografías, con el objetivo de caracterizar las heterogeneidades térmicas de la envolvente que de otra manera no son detectables (estanqueidad de las ventanas, modificaciones en la U de diferentes muros, puentes térmicos...).

Dada la heterogeneidad de las construcciones tradicionales, una de las técnicas mas adecuadas es la utilización, precisamente, de la termografía. Hay numerosos ejemplos de su utilización con éxito en edificios históricos para determinar la unión de los muros, mapear la humedad, medir la difusividad térmica y detectar fugas de calor (Grinzato 2002).

Mientras que el perfil estadístico del stock edificado es bastante detallado, hay pocas conclusiones coordinadas sobre como usa la gente su casa, como se sienten sobre ella, cuales son sus miedos y aspiraciones. Tampoco hay estudios de estos temas a nivel urbano. (Ravetz 2008)

4.6. Toma de decisiones para la rehabilitación energética

Debido a que el edificio y su entorno son sistemas complejos desde múltiples puntos de vista (técnicos, tecnológicos, ecológicos, sociales, culturales, antropológicos, estéticos, de confort...), la toma de decisiones en la rehabilitación energética es una tarea difícil de abordar (Kaklauskas et al 2004), donde cada subsistema influencia el comportamiento energético total y donde la interdependencia entre cada subsistema juega un papel significativo. Se han desarrollado múltiples modelos y métodos de toma de decisiones para intentar resolver el problema:

- Análisis coste-beneficio (Goodacre et al 2002)
- Análisis multicriterios (Brandt et al. 2002)
- “Lattice method for global optimization”(Saporito et al.2001)
- Predecir el índice de habitabilidad (Kusuda 2001)
- Sistemas de calificación energética para edificación existente (Zmeureanu 1999)

Debido al gran avance en el campo de las tecnologías para la mejora de la eficiencia energética cada vez es más difícil identificar las soluciones más efectivas, viables y duraderas. El agente decisor debe equilibrar factores tan diversos como los ambientales,

energéticos, económicos, culturales y sociales para alcanzar la solución óptima que además tenga en cuenta las necesidades del usuario final: el ocupante de la vivienda. No existe, por tanto, una solución óptima para el problema debido a que los criterios implicados en la decisión entran en conflicto (Rosenfeld et al. 1999).

4.6.1. Metodologías multicriterio para el apoyo a la toma de decisiones para la rehabilitación energética

La rehabilitación energética de edificios es un campo que se presta a ser tratado por modelos de apoyo a la toma de decisiones, debido a que normalmente se desarrollan para situaciones complejas, tal como los caracterizo Keeney (Keeney 1982):

1. Múltiples objetivos
2. Dificultad en identificar alternativas viables
3. Planificación a largo plazo
4. Diferentes agentes afectados por la decisión
5. Incertidumbre
6. Campo interdisciplinario
7. Múltiples decisores implicados
8. Existe un trade-off entre el nivel de inversión y el nivel de resolución de problemas

El estado del arte se aproxima a este problema desde dos aproximaciones diferentes (Diakaki 08):

1. Se realiza el estudio energético del edificio, y basándose en sus resultados el experto energético predefine varios escenarios alternativos que se desarrollan y evalúan (Krarti 2000). Estos escenarios son validados y definidos por el experto en el edificio y son evaluados sobre todo mediante simulación. (Dascalaki et al. 2002). La selección del escenario de rehabilitación definitivo, las medidas y acciones de eficiencia energética que finalmente se desarrollaran se basan fundamentalmente, por tanto, en la experiencia de los expertos.
2. El segundo acercamiento supone la inclusión de técnicas de apoyo a la toma de decisiones, como metodologías multicriterio que apoyan la selección final entre una lista de acciones posibles.

Un procedimiento muy común es el análisis del edificio mediante la simulación mientras que la decisión final se apoya en técnicas multicriterio que apoyan la selección final entre una lista predeterminada de acciones posibles.

Gero et al. (Gero et al, 1983) fueron de los primeros en proponer un modelo multicriterio para explorar los trade-offs entre el comportamiento energético del edificio y otros criterios como el coste de inversión. Wright et al. (Wright et al. 2002) utilizaron algoritmos genéticos para optimizar el diseño térmico y el control de los edificios y Chen et al. (Chen et al. 2006) propusieron un modelo multicriterio para la eficiencia energética a lo largo de la vida útil de edificios inteligentes. Alanne (Alanne 2004) propuso un modelo multicriterio “knapsack” para ayudar a los diseñadores a seleccionar las acciones mas viables en la fase conceptual del proyecto de rehabilitación. Según este enfoque se desarrollan una serie de acciones de

rehabilitación a las que se le asigna una puntuación de utilidad según criterios específicos. Las puntuaciones de utilidad de todas las acciones son utilizadas entonces como pesos en el modelo de optimización para identificar las acciones que deberían llevarse a cabo. Para más información se puede ver la revisión que Al-Homoud (Al-Homoud 2001) hizo de estos enfoques sistemáticos que se basan mayoritariamente en técnicas multicriterio.

Para nuestro objetivo, uno de los campos de investigación más interesantes es la evaluación de posibles escenarios de rehabilitación. Un escenario de rehabilitación es la lista de trabajos necesarios para la rehabilitación de un edificio. Jaggs and Palmar (Jaggs and Palmar, 2000), Flourentzou and Roulet (Flourentzou and Roulet, 2002) y Rey (Rey 2004) propusieron enfoques multicriterio para el apoyo a esta toma de decisiones.

Dentro de los proyectos europeos EPIQR (para edificios de apartamentos) y TOBUS (para edificios de oficinas) se desarrolló una metodología sistemática para la generación de escenarios de rehabilitación óptimos (Flourentzou and Roulet, 2002). La metodología consistía en la descomposición del edificio en 50-60 elementos estructurales y funcionales, los “objetos de diagnóstico”. Los expertos evaluaban el estado actual de cada elemento al que le adjudicaban un código. El método incluía una base de datos que relacionaba cada estado con una lista de trabajos a desarrollar.

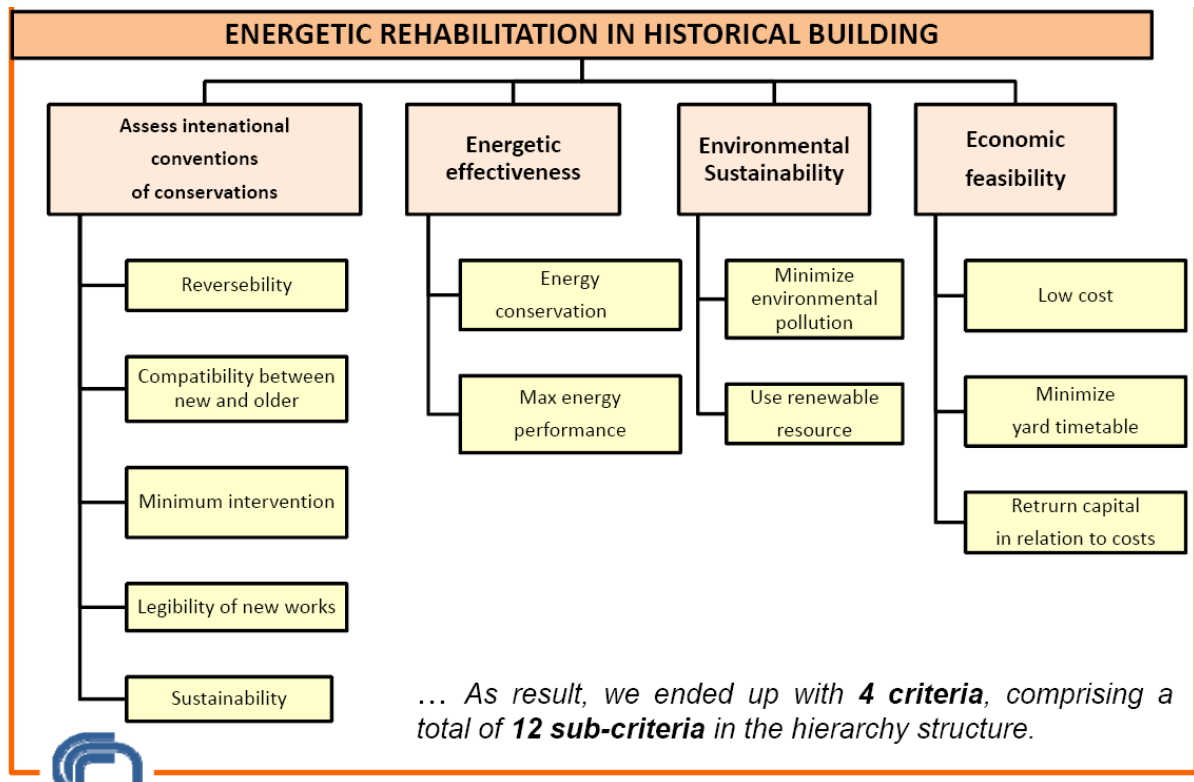
Sin embargo, según Diakaki et al. (Diakaki et al. 08), el problema con este tipo de aproximación es la necesidad de desarrollar toda la serie de acciones o escenarios que deben de predefinirse y preevaluarse. Además del hecho de que establecer una serie de alternativas representativas suele ser difícil (Syskos et al. 2005), al tratarse de un limitado número de soluciones hace que no haya garantía que la solución adoptada sea la óptima, ya que la decisión está totalmente condicionada a estas alternativas predefinidas. Si se desea aumentar el número de alternativas, el proceso de definición y de evaluación de los mismos puede no ser viable. Por tanto, la verdadera desventaja de este enfoque es el basarse en un número determinado de alternativas, por muy alto que sea, cuando las oportunidades reales son tantas considerando el estado actual del campo y sus futuros avances.

4.6.2. Criterios para la toma de decisiones para la rehabilitación energética de la ciudad histórica

A la hora de abordar la actualización del patrimonio a requerimientos actuales un enfoque clásico es la confrontación de criterios de habitabilidad con la de criterios de respeto al patrimonio, a los que se le añade criterios de viabilidad económica o sostenibilidad ambiental. Así se ha abordado en proyectos como el Patrac (“I+D+I para una cultura sin barreras”) donde se seleccionan diferentes alternativas para la mejora de la accesibilidad a edificios patrimoniales o en el proyecto Sechurba (“Sustainable Energy Communities in Historic Urban Areas”), donde se está desarrollando una aplicación de la metodología multicriterio AHP para la evaluación de compatibilidad de proyectos energéticos en edificios históricos. El proyecto Sechurba identifica los siguientes criterios a tener en cuenta en todas las fases de intervención a realizar:

1. Conservación intacta del Patrimonio Histórico protegido.
2. Mejora de la Eficiencia Energética del edificio a intervenir.
3. Compatibilidad de las soluciones con el Medio Ambiente.
4. Economía de las soluciones de intervención.

La estructura jerárquica de criterios y subcriterio sería la siguiente:



Esquema 8: árbol de decisión del proyecto Sechurba

Sin embargo, si nos basamos en la premisa de que la sostenibilidad y la conservación de las ciudades históricas son procesos inseparables (Roddwell 2007) al ser el sistema de la ciudad histórica intrínsecamente sostenible, la mejora energética y el respeto a su patrimonio no son criterios antagónicos, sino dos aproximaciones a la autenticidad energética de la ciudad histórica. Rodwell establece tres aspectos clave de la coincidencia conservación-sostenibilidad:

- **La continuidad de la diversidad cultural:** la sostenibilidad enfatiza la relación esencial entre biodiversidad y diversidad cultural, entre las características específicas del entorno natural y la forma de vivir y habitar en ellos. Este enfoque está totalmente alineado con la nueva visión, que organismos como la UNESCO fomentan, de la cultura como un proceso evolutivo que sustituye el concepto de patrimonio como reliquia del pasado por un concepto patrimonial de continuidad y mejora socio-cultural. La continuidad del conocimiento y habilidades constructivas de la arquitectura tradicional se convierte de este modo en aspecto clave de este enfoque y parte integrante del desarrollo cultural y socio-económico de la ciudad en su conjunto.
- **La gestión de recursos:** Las clásicas “3 Rs” (Reducir, re-usar y reciclar) de la gestión de residuos y recursos no renovables, es también una estrategia clásica de la evolución de la ciudad histórica. El ambiente histórico urbano es en sí mismo un bien ambiental que necesita ser preservado para el futuro y los edificios históricos son reservas de energía y capital ambiental (May Cassar, 2006). Desde el punto de vista de la conservación, la visión de la ciudad sostenible reconoce que el capital ambiental de los edificios e infraestructuras existentes son al menos tan importantes como su valor cultural.

- **Mínima intervención:** En línea con la tradición conservacionista, la aproximación conservación-sostenibilidad del patrimonio edificado, se orienta hacia los principios de mínima intervención, priorizando la mínima intervención (sobre innecesarios niveles de intervención) en la fábrica histórica, en el funcionamiento ambiental y en la población, buscando el equilibrio energético y económico de las intervenciones, y centrado en el complemento entre ellos (fábrica, el funcionamiento ambiental y la población) a partir de un desarrollo aditivo, y no sustitutivo, integrado y no parcial.

Según Vazquez Espi (Vazquez Espi 2001) la cualidad de lo ecológico, o de lo sostenible, es determinada dentro de una cultura determinada (también de una cultura técnica). Los criterios que identifica el autor para reducir los impactos del proceso de rehabilitación coinciden con las estrategias históricas de evolución de la ciudad histórica:

- Los esfuerzos a favor de una construcción sostenible deben dirigirse a disminuir el coste de mantenimiento de los edificios.
- Debe mejorarse la durabilidad de los edificios y la eficiencia de los sistemas energéticos activos. Todo ello puede hacerse con materiales.
- La construcción sostenible debe contemplar el uso de materiales disponibles localmente.
- Pueden establecerse dos reglas cualitativas básicas para el cálculo de la energía incorporada de mucha ayuda para el diseñador: la presencia de componentes que exigen altas temperaturas en su fabricación o altos grados de pureza respecto a la composición media de la corteza terrestre (o ambas cosas a un tiempo) permiten vaticinar costes energéticos altos. Estas circunstancias nunca se dan en los materiales utilizados tradicionalmente.
- En general, si las prestaciones requeridas no son extremas, los materiales polifuncionales (es decir, los que permiten construir elementos constructivos que resuelven simultáneamente varias funciones) deben preferirse a los materiales especializados.

Tal como se ha mencionado anteriormente, EPIQR (Energy Performance Indoor Environmental Quality Retrofit) es una metodología desarrollada para apoyar a los propietarios de edificios de apartamentos que quieren rehabilitarlos (Jagss et al. 2000). Los criterios que tiene en cuenta a la hora de evaluar y recomendar acciones son los siguientes:

- IEQ (Indoor Environmental Quality)
- Uso de la energía
- Coste

Uno de los aspectos más interesantes de esta metodología es el IEQ (Indoor Environmental Quality) como forma de medir la habitabilidad. Sus conceptos claves:

- Humedad
- Ruido
- Confort térmico
- Calidad del aire (y ventilación)

- Iluminación
- Seguridad

Se utilizan dos métodos para determinar estos aspectos:

- Un cuestionario que identificaba los aspectos de la IEQ que experimentaban los ocupantes.
- Un “checklist” para ser usada en el momento de la inspección que recogía los problemas del edificio.

4.7. Herramientas software

Zhiliang et al (Zhiliang et al. 2008) mediante una investigación de la literatura existente y entrevistas a diseñadores propusieron los requerimientos que debería tener la siguiente generación de software para la eficiencia energética en edificios:

- El software además de calcular el consumo de energía en su fase operativa deberá evaluar los costes, el consumo de energía, el consumo de recursos y las emisiones a lo largo de todo su ciclo de vida.
- El software deberá funcionar completamente sobre una plataforma grafica 3D.

Estos requisitos se pueden traducir en el empleo de la tecnología BIM y soporte del estándar IFC. BIM esta basado en modelos 3D y en pensamiento orientado a objeto para describir de forma exhaustiva la información relativa a los edificios, por lo que posibilita el tratamiento de datos a lo largo de todo el ciclo de vida de los edificios. El uso del estándar IFC posibilita el intercambio de datos entre diferentes software evitando duplicidades y haciendo mas eficiente el proceso.

4.7.1. Herramientas de simulación energética adecuadas para la edificación tradicional

El primer paso para mejorar el rendimiento energético de los edificios es estudiar y simular su comportamiento. En los últimos 50 años han sido desarrollados cientos de programas software relacionados con la energía en la edificación. En este campo, se puede considerar que la parte nuclear son los simuladores energéticos a nivel de edificio (Crawley 08) que nos aportan indicadores clave del comportamiento energético de los edificios (uso de la energía, demanda, temperatura, humedad, costes...)

Sin embargo no todas las herramientas de simulación son adecuadas para simular edificios históricos, ya que su motor de cálculo debe ser capaz de calcular las características específicas del comportamiento energético propio de la edificación tradicional. Uno de los pocos estudios encontrados en este sentido es el realizado por el Centre for sustainable Heritage de la UCL (Tuffnell 2004), donde se comparaban dos de las herramientas de simulación más populares: EnergyPlus y TAS Building Designer. Se utilizaron datos reales obtenidos mediante monitorización para calibrar los modelos. Los resultados obtenidos con Energy Plus resultaron ser mucho más precisos. Una de las razones se encuentra en la

diferencia en la forma en que los dos programas calculan las predicciones de humedad. Mientras que el Tas Building Designer se calcula mediante un simple algoritmo de equilibrio de masa ("mass balance") que no modeliza la interacción de la humedad con la fabrica del edificio, Energy Plus utiliza una relación de equilibrio de masa que tiene en cuenta las capacidades de interacción y almacenamiento de humedad de los materiales.

Una de las pocas referencias existentes que analizan la adecuación de los programas de certificación actuales a los edificios tradicionales es una orientación provisional del English Heritage (EH 2007) sobre el Standard Assessment Procedure (SAP), el método elegido por el Reino Unido para cumplir con la Directiva Europea de certificación de viviendas. Según el English Heritage la certificación mediante SAP de edificios tradicionales a menudo es muy poco exacta por razones extrapolables a otras herramientas de certificación y que tienen que ver con la falta de capacidad de la herramienta para asumir la complejidad en cuanto a materiales y formas de la edificación tradicional. Pero la mayor objeción planteada es que el modelo SAP no tiene en cuenta la inercia térmica de la construcción, por lo que penaliza en exceso las edificaciones tradicionales.

4.7.2. Tecnologías de monitorización y seguimiento

La introducción del "smart metering" y de tecnologías de la inteligencia ambiental es probable que marque el inicio de una era donde el ambiente y los usos dentro del edificio estarán monitorizados de forma continua y exhaustiva (Ravetz 2009). Por lo que el sistema deberá ser capaz de gestionar y aprovecharse de esta continua toma de datos.

Se pueden aplicar varias tecnologías de sensorización (Mahdavi 2004) para esta actualización continua del estado:

- Información sobre atributos críticos del microclima exterior (temperatura del aire exterior, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, irradiancia global y difusa e iluminancia) se puede obtener gracias a tecnologías ya existentes
- El éxito de las estrategias de gestión solo se pueden evaluar mediante la monitorización de las variables a las que hemos relacionado nuestros objetivos. También en este caso existen multitud de tecnologías de sensores para capturar factores como la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa, el movimiento de aire, la concentración de Co2 y la iluminancia.
- El conocimiento de la presencia y de las actividades de los ocupantes es importante para el funcionamiento óptimo del edificio. Las tecnologías de detección de movimientos (basados en ultrasonido o infrarrojos) y la visión artificial posibilitan la continua monitorización de los ocupantes.

Las tecnologías de sensorización también posibilitan monitorizaciones más complejas, quizás solo justificables en casos singulares, como:

- El estado de los controles de los componentes móviles del edificio (puertas, ventanas, sistemas de sombreado...) y de los sistemas (accionadores de los sistemas de acondicionamiento e iluminación del edificio) pueden ser monitorizados basándose en diferentes técnicas: sensores de contacto, sensores de posición, visión artificial...

- Algunas propiedades semánticas, como la reflexión o transmisión de la luz, de los elementos del edificio pueden cambiar a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden ser monitorizados dinámicamente.
- Cambios en la situación y orientación de elementos del edificio como particiones y mobiliario, pueden ser monitorizados mediante sensores de localización basados en ultrasonidos o utilizar la tecnología de identificación de radiofrecuencia (RFID)

5. Aproximación energética-patrimonial a la ciudad histórica

¿Qué es intervenir sobre lo construido, sobre la ciudad consolidada sino intervenir sobre el patrimonio?, y ¿qué es el patrimonio sino la herencia de una ciudad tradicional, basada en ese viejo metabolismo urbano sostenible, re-interpretable y re-aprovechable ahora hacia nuevos modelos urbanos sostenibles? (Marat et al. 2010).

La sostenibilidad de los sistemas urbanos se puede alcanzar desde un nuevo modelo social y productivo heredero del patrimonio que significan los sistemas preindustriales, si somos capaces de actualizarlos con el conocimiento técnico y la información actual (Marat et al. 2010). La rehabilitación energética de la ciudad histórica, por tanto, debe plantearse desde la potenciación de los aspectos patrimoniales que siempre han posibilitado el modelo de gestión sostenible de los recursos de la ciudad. En este apartado incidiremos en dos aspectos de esta aproximación que condicionan la propuesta metodológica:

- Las características específicas del comportamiento energético de la edificación preindustrial.
- El componente patrimonial de la estructura energética de la ciudad histórica.

Finalmente se establecerán los requerimientos identificados para una metodología integral de la mejora energética.

5.1. Características específicas del comportamiento energético de la edificación preindustrial.

La fase del análisis del estado del arte ha permitido identificar las características de la edificación tradicional que condicionan su estudio energético:

Sistemas pasivos de acondicionamiento energético: con mayor inercia térmica y adaptación a las condiciones climáticas

Heterogeneidad de la envolvente: La estratificación de distintas etapas constructivas y re-constructivas genera un contexto edificado muy variado, en la que conviven materiales, aparejos y sistemas constructivos muy distintos y de difícil tipificación, con predominio de construcción artesanal, con lo cual dificulta la caracterización energética.

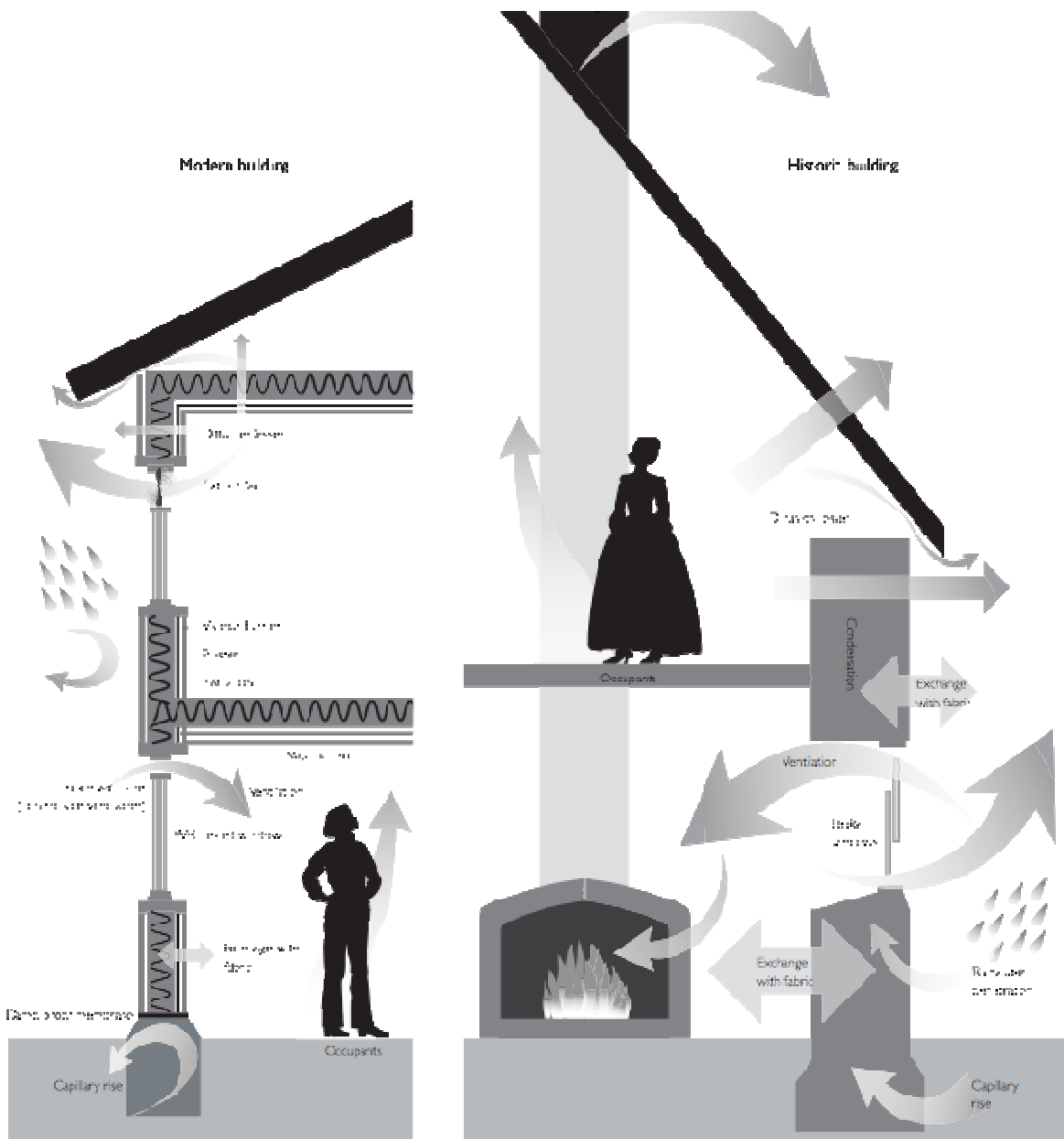
Presencia de elementos singulares con una función bioclimática a identificar y a proteger

Energía embebida: Los edificios históricos son una reserva de energía embebida, un capital energético en forma de madera, piedra, vidrio, metal, ladrillo... Un estudio realizado por el BRE en 2003 demostró que un típico edificio victoriano contiene el equivalente a 15.000 litros de petróleo. Además de esa energía acumulada, estos materiales a menudo son irremplazables y resultado de sabiduría artesanal que ya no existe. (Cassar 06)

Materiales locales: la arquitectura tradicional siempre se ha realizado con materiales locales naturales con un bajo nivel de procesamiento cumpliendo con la lógica ecológica de minimizar el gasto energético en transporte y procesamiento y reducir los materiales que

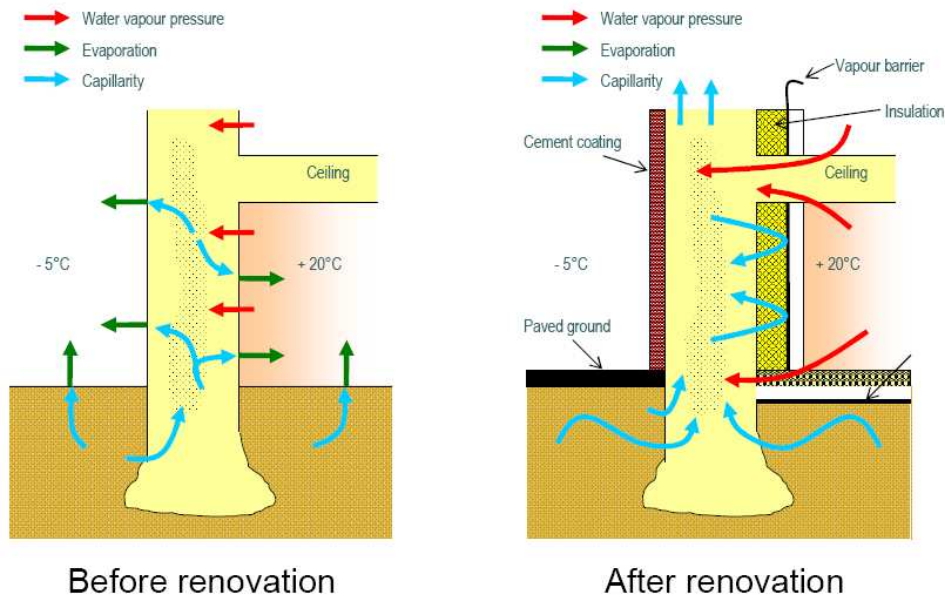
emiten toxinas. Se necesita relativamente poca energía para producir los materiales que usa la arquitectura tradicional (madera, piedra, adobe...), a diferencia de los materiales mas modernos mucho mas energéticamente intensivos.

Comportamiento higrotémico: Comportamiento energético diferente a la edificación moderna (sobre todo comportamiento higrotermico), con mayor interacción con el entorno. Los materiales son mas porosos y permeables por lo que responden al aire y a la humedad de forma muy diferente a los materiales impermeables utilizados en las construcciones mas modernas. En el siguiente diagrama (EH 2002) se pueden ver las diferencias de movimiento de humedad entre la edificación tradicional y la edificación moderna.



Esquema 9: funcionamiento higrotémico de la edificación tradicional vs. La moderna (Fuente: English Heritage)

El no considerar este comportamiento higrotermico específico y aplicar soluciones extraídas de edificaciones mas modernas puede tener como resultado deteriorar el equilibrio higrotermico del edificio, con el resultado de la aparición de patologías como se puede ver en la siguiente figura:



Esquema 10: patologías ocasionadas por soluciones de rehabilitación poco adecuadas (Fuente Cantin and Guarracino)

Los edificios tradicionales necesitan, por tanto, de mayor grado de ventilación con el objetivo de evaporar la humedad de la fábrica del edificio. Cualquier reducción en la infiltración de aire debe ser hecha desde bases razonadas y estudiadas (Oxley 2006), debido a que la humedad es el mayor origen de patologías en la edificación tradicional, sobre todo en la de uso residencial debido a la ausencia de aire acondicionado y a usos que generan mayor cantidad de vapor de agua (Lourenzo 2004).

5.2. Componente patrimonial de la estructura energética de la ciudad histórica.

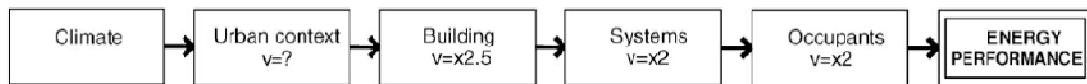
La aproximación energética a la ciudad histórica supone una nueva aproximación a la valorización del patrimonio cultural edificado. Un nuevo valor del patrimonio histórico, alineado con las exigencias medioambientales, económicas y sociales actuales que puede ayudar a reformular la forma en la que se interviene y se gestiona el patrimonio.

En este sentido es elemento clave el descubrimiento de los valores constructivos esenciales del caserío y su eficiencia intrínseca (Panero, 2009), atendiendo a la relación de la arquitectura vernácula con el microclima característico de su entorno. La identificación de la estructura energética del edificio como resultado de la suma de materiales, arquitectura (tecnología) y energía hasta obtener su adecuación y adaptación al medio o entorno, y el conocimiento, reconocimiento y puesta en valor de las características bioclimáticas de la

arquitectura vernácula es otros de los valores centrales del patrimonio cultural edificado en relación con al ambiente-entorno a conservar y proteger, reutilizar y mejorar.

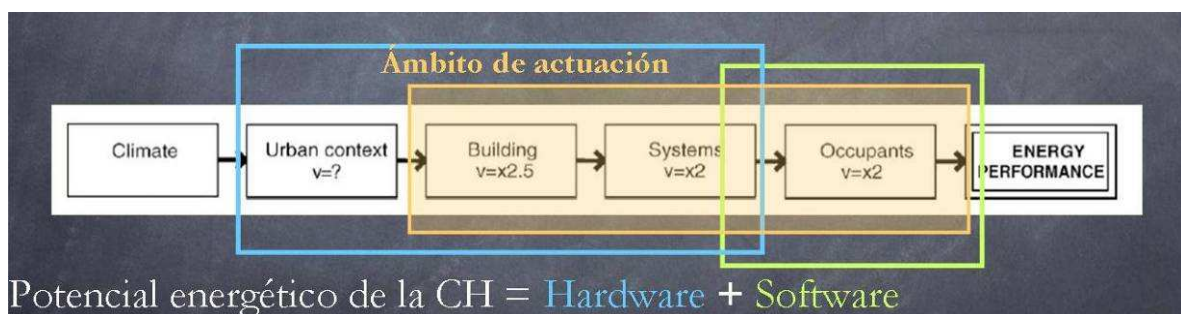
Esta nueva valorización debe incluir la función energética de los elementos de la ciudad histórica, pero también la visión antropológica de la aproximación energética, no solo por suponer un valor intangible a proteger, sino porque su estudio puede ser la clave para diseñar estrategias de gestión que mejoren el comportamiento energético de los edificios de forma no invasiva. Para alcanzar todo el potencial energético de la ciudad histórica es necesario no solo mejorar su hardware sino también su software. Una de las herramientas para conseguirlo es el estudio de la gestión histórica de la vivienda tradicional. Esta información, además de darnos una visión antropológica de la estructura energética de la ciudad histórica culturalmente valiosa, nos puede dar claves para determinar la gestión adecuada desde el punto de vista energético.

Según el clásico diagrama de Baker y Steemers los ocupantes pueden influir hasta en un factor 2 en el comportamiento energético del edificio.



Esquema 11: factores de influencia en el comportamiento del edificio (Fuente: Baker and Steemers 2009)

En un entorno patrimonial o protegido es necesario priorizar las actuaciones no invasivas, por lo que el estudio para mejorar la gestión de la energía debe ser uno de los objetivos. No se trata de la traslación directa de las soluciones históricas de gestión, ya que muchas de ellas no tendrían sentido hoy en día, sino de estudiar las estrategias para ver su posible actualización.



Esquema 12: ámbito de actuación en la rehabilitación energética

5.3. Requerimientos para una metodología integral de la mejora energética

El estado del arte nos ha permitido identificar los requerimientos que debería cumplir una metodología integral para la mejora energética de la ciudad histórica, que se podían resumir en los siguientes:

- a) Acercamiento iterativo
- b) Acercamiento participativo en la toma de decisiones.
- c) Acercamiento estructurado a las distintas fases de elaboración de los procesos de intervención.
- d) Acercamiento abierto a la organización de la información.
- e) Acercamiento sistémico
- f) Abordarlo desde la escala adecuada (desde el elemento a la escala urbana)
- g) Tener en cuenta los patrones de comportamiento de los usuarios

Para el desarrollo de nuestra propuesta metodológica nos hemos basado en la estructura metodológica desarrollada dentro del proyecto Patur “Herramientas innovadoras de apoyo a la toma de decisiones y a la gestión urbanística para la revitalización de cascos históricos” (Patur 2007) para el proceso de conservación, entendido éste como un proceso de mejora continua del propio proceso, debido a que su estructura cumple los primeros cuatro requisitos identificados.

6. Metodología para el estudio de la estructura energética de la ciudad histórica.

Desde un punto de vista patrimonial y arquitectónico cualquier rehabilitación energética de un edificio histórico es un desafío en términos de conservación. Pero la mejora de su comportamiento energético puede alinearse (y potenciarse) con la conservación y puesta en valor patrimonial si se hace desde la lógica interna de entender la edificación tradicional y la ciudad histórica como sistemas ambientales. Este objetivo solo puede conseguirse desde el conocimiento científico riguroso, interdisciplinario y transdisciplinario, de la estructura energética de la ciudad histórica como sistema ambiental, que nos de la base para establecer los criterios para la posterior toma de decisiones en su actualización energética.

6.1. Definición de los requerimientos

Con el objetivo de poder estudiar las múltiples y complejas interacciones entre el edificio tradicional, su entorno y sus elementos, la aproximación metodológica deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Aproximación holística
- Aproximación sistémica
- Aproximación jerarquizada a diferentes escalas (urbana, edificio y elemento)

El esquema es el siguiente:



Esquema 13: estructura jerárquica de la metodología

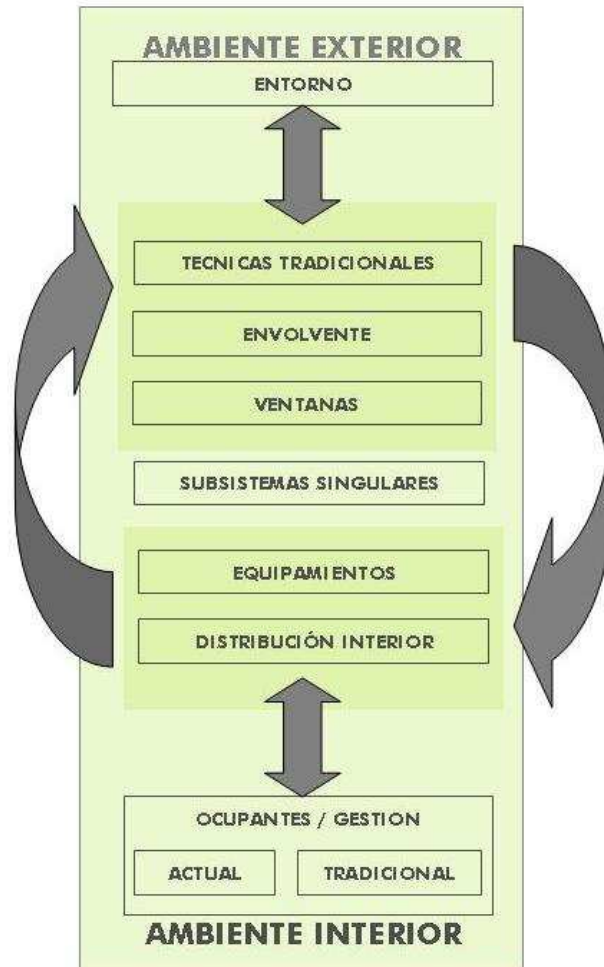
6.2. La estructura sistémica de la unidad habitacional

Para el estudio y comprensión de la estructura de la unidad habitacional es necesario un enfoque sistémico que asuma su dinámica, complejidad y heterogeneidad y que permita el estudio de todos sus elementos y la interdependencia entre ellos. Cantin et al (Cantin et al 2009) establecieron un modelo de siete subsistemas:

1. Ambiente exterior y localización
2. Ambiente interior
3. Técnicas tradicionales constructivas
4. Envolvente
5. Ventanas
6. Equipos
7. Ocupantes

Esta aproximación permite modelar el límite entre el ambiente exterior e interior como un subsistema compuesto de los subsistemas “Técnicas tradicionales constructivas”, “Envolvente”, “Ventanas” y “Equipos”, donde el subsistema “ocupantes” se incluye dentro del subsistema “Ambiente interior”, y donde el ambiente exterior es la información de entrada y el ambiente interior la información de salida.

Basándonos en esta configuración hemos utilizado una aproximación parecida como estructura del sistema habitacional con el objetivo de caracterizarlo. En el siguiente esquema se puede ver la estructura propuesta:



Esquema 14: aproximación sistémica para la caracterización de la unidad habitacional tradicional

La razón principal de esta adaptación ha sido la necesidad de estudiar el componente patrimonial y antropológico de la unidad habitacional. Esta estructura además de posibilitar la generación del conocimiento necesario, estructurara la posterior toma de decisiones ejecutiva para la selección de soluciones de mejora.

6.3. El estudio de la gestión tradicional

La mejora de la gestión de la unidad habitacional (la mejora de su “software”) nos posibilita mejorar su comportamiento energético de una forma responsable, no invasiva y coherente con la naturaleza intrínseca de la edificación tradicional. Para ello es necesario estudiar su manejo histórico, no solo por el valor antropológico que supone este conocimiento, sino también porque es un conocimiento clave a la hora de diseñar soluciones y acciones que aprovechen todo su potencial energético. No se trata de trasladar directamente patrones de uso del pasado, sino de reinterpretar estrategias y adaptarlas a la forma de vida de los ocupantes actuales aprovechando las nuevas tecnologías. Este manejo histórico supone un vector básico en la autenticidad energética de la ciudad histórica y una de sus oportunidades de mejora mas claras.

7. Criterios para la toma de decisiones. Criterios de compatibilidad y coherencia con el carácter tradicional e histórico.

Dentro de la metodología integral, los criterios para la toma de decisiones ocupan un lugar central. A la hora de abordar la actualización del patrimonio a requerimientos actuales, tal como se ha visto en el estado del arte, un enfoque clásico es la confrontación de criterios de habitabilidad con la de criterios de respeto al patrimonio, a los que se le añade criterios de viabilidad económica o sostenibilidad ambiental.

Sin embargo, en la presente propuesta partimos de la premisa de la coincidencia entre la conservación y la sostenibilidad, asumiendo que el sistema de la ciudad histórica es intrínsecamente sostenible. Al tener la sostenibilidad en su código genético, la mejora energética y el respeto a su patrimonio no son criterios antagónicos, sino dos aproximaciones a la autenticidad energética de la ciudad histórica. El objetivo ha sido la definición de los subcriterios que integren los criterios de coherencia con este sistema y, por tanto, que aseguren, al mismo tiempo, la conservación del patrimonio y la sostenibilidad ambiental.

Aunque la ciudad histórica se origine sostenible y energéticamente eficiente, no hay que olvidar el cambio en las formas de vida y en los estándares exigidos de habitabilidad, además de los sistemas de acondicionamiento inexistentes en su origen. Aunque el criterio de “coherencia con el sistema” nos asegure que las decisiones tomadas serán respetuosas con la naturaleza de la ciudad histórica y con el medioambiente, necesitamos otro criterio que englobe la mejora de la habitabilidad y el ahorro energético: el criterio de la eficiencia energética.

Por último se añade un tercer criterio que asegure la viabilidad de las soluciones, especialmente desde el punto de vista económico. Por lo tanto la toma de decisiones se estructura en tres criterios principales:

- Coherencia con el sistema
- Eficiencia Energética
- Viabilidad

Que a su vez se desglosan en los siguientes subcriterios:

Subcriterios de Coherencia con el sistema

- La continuidad de la diversidad cultural
- Mínima intervención
- Gestión de recursos

Subcriterios de Eficiencia Energética

- Subcriterio de optimización del consumo energético
- Mejora de la habitabilidad

Subcriterios de Viabilidad

- Viabilidad técnica
- Viabilidad económica
- Viabilidad normativa

En los siguientes apartados se desarrollan estos subcriterios con el objetivo de obtener un árbol de decisiones para la toma de decisiones de intervención a escala ejecutiva.

7.1. Criterios de coherencia

Subcriterio de continuidad de la diversidad cultural

La continuidad del conocimiento y habilidades constructivas de la arquitectura tradicional además de ser un aspecto clave del desarrollo cultural y socio-económico de la ciudad en su conjunto, es un criterio que asegura la compatibilidad de las soluciones elegidas con el sistema energético que supone la edificación tradicional. Dentro de este subcriterio se deberá valorar:

- Respeto por la autenticidad
- Respeto por la integridad (conservación los elementos de valor)
- Soluciones que respeten la tipología original.
- Compatibilidad/adecuación con las técnicas constructivas tradicionales de la ciudad histórica
- Legibilidad de las aportaciones modernas
- Adecuación a las formas de vida de los habitantes
- Soluciones fundamentadas en las estrategias de acondicionamiento históricas, acordes con su comportamiento natural, que aprovechen/optimicen los elementos singulares
- Utilización de materiales tradicionales.

Subcriterio de mínima intervención

La mínima intervención es un criterio compartido tanto por la ciencia de la conservación del patrimonio como por el campo de la sostenibilidad ambiental. Dentro de este subcriterio se deberá valorar:

- La preferencia por soluciones que supongan una adaptación o reparación de los elementos antes que la sustitución de los mismos.
- Fomento de las soluciones de mantenimiento
- Reversibilidad de las soluciones adoptadas
- Preferencia por las soluciones que mejoren el comportamiento energético mediante medidas no invasivas como las referentes a la mejora de la gestión.

Subcriterio de gestión de recursos

Las clásicas “3 Rs” (Reducir, re-usar y reciclar) de la gestión de residuos y recursos no renovables, es también una estrategia clásica de la evolución de la ciudad histórica. Dentro de este subcriterio se deberá valorar:

- La energía embebida de las soluciones adaptadas
- La utilización de materiales locales
- Durabilidad y fiabilidad de los materiales y sistemas utilizados
- La minimización de residuos y contaminantes generados
- Mínimo impacto sobre el entorno histórico urbano

7.2. Criterios de eficiencia energética

Si se entiende la mejora de la habitabilidad como la continuación de la función habitacional pero con los estándares actuales, dentro de este contexto, se entiende como eficiencia energética, la mejora de la habitabilidad con el mínimo gasto energético.

Subcriterio de optimización del consumo energético

- Rendimiento de los sistemas
- Valor U de los materiales empleados
- Mejora del comportamiento energético
- Utilización de energías renovables

Mejora de la habitabilidad

El IEQ (Indoor Enviromental Quality) es un concepto clave para salud y el bienestar (Jagss et al. 2000) de los ocupantes. Los conceptos que incluye:

- Humedad
- Ruido
- Confort térmico
- Calidad del aire (y ventilación)
- Iluminación
- Seguridad

7.3. Criterios de viabilidad

Es necesario asegurar que las soluciones y medidas planteadas sean viables desde el punto de vista económico, técnico y normativo:

Viabilidad económica

- Coste inicial de la inversión
- Retorno de la inversión
- Coste de mantenimiento
- Análisis coste-beneficio

Viabilidad técnica

- Coherencia y compatibilidad con el comportamiento energético de la edificación tradicional.
- Facilidad de instalación.
- Mínima molestia al usuario.

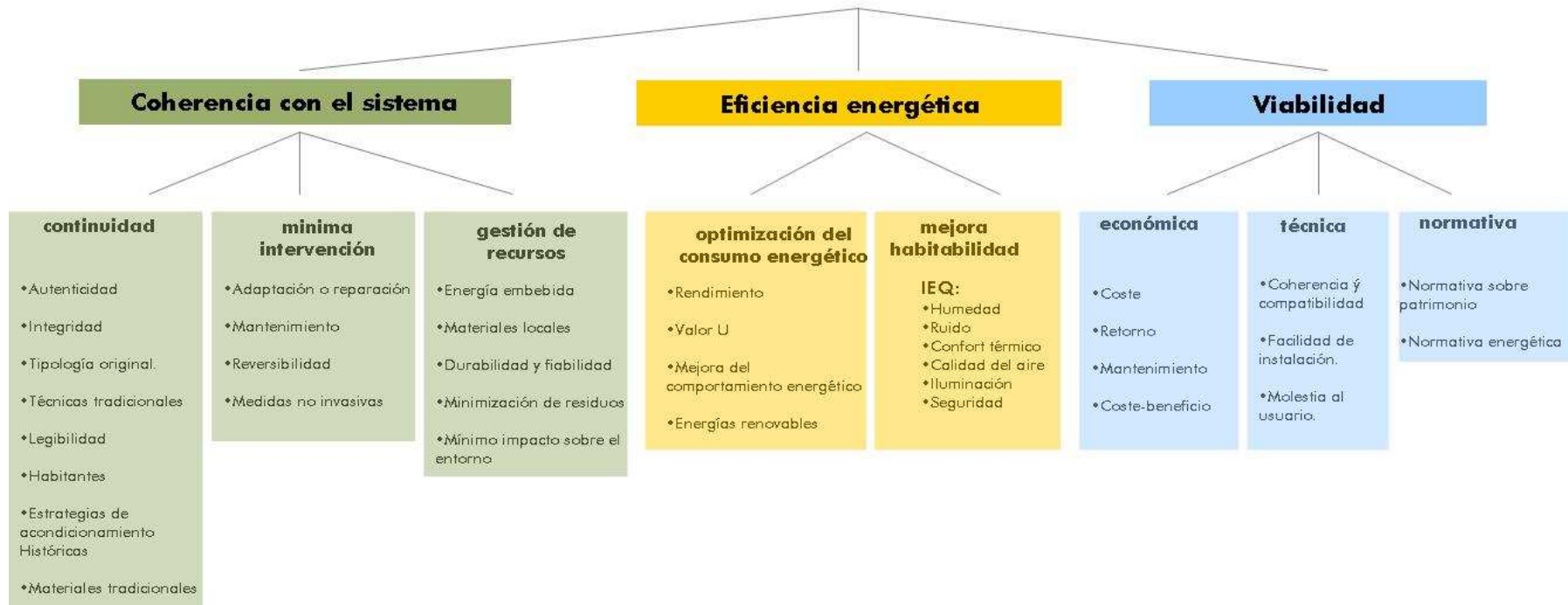
Viabilidad normativa

- Cumplimiento de la normativa sobre patrimonio
- Cumplimiento de la normativa en materia energética

7.4. Árbol de decisión

Además de la catalogación de soluciones concretas se establecerán los criterios que servirán también para evaluar posibles soluciones futuras que la tecnología ofrezca. El siguiente esquema ilustra el árbol de decisión resultante:

MEJORA ENERGÉTICA DE LA CIUDAD HISTÓRICA



Esquema 15: árbol de decisión.

8. Modelización de los procedimientos para la gestión de la eficiencia energética de la ciudad histórica

La aplicabilidad de las condiciones, criterios y límites del reto de la mejora de la eficiencia energética funcional de los edificios históricos implica tomar el proceso de conservación de forma integral. La rehabilitación energética es un nuevo paso en el continuo proceso de conservación de la ciudad histórica que requiere de un delicado equilibrio entre conservación del patrimonio construido y la disponibilidad de herramientas que permitan abordar los objetivos del ahorro energético y vincular la sostenibilidad ambiental a los modelos locales de desarrollo, uniendo la valorización conjunta de sus recursos culturales y ambientales.

De este modo, esta rehabilitación de segunda generación, debe incorporar a la planificación y gestión urbana, desde una aproximación integral desde este nuevo prisma de valoración del la ciudad histórica.

8.1. Plan de rehabilitación energética

Para la implantación a nivel estratégico de la metodología será necesario un “Plan de Rehabilitación Energética” que sirva como herramienta de coordinación de la planificación de mejora del sistema habitacional. La definición de esta estrategia integral de mejora del comportamiento ambiental del patrimonio edificado de las áreas urbanas históricas tendrá los siguientes objetivos:

- Avanzar en el conocimiento del comportamiento ambiental del centro histórico como sistema
- Proponer soluciones coherentes y compatibles tecnológicamente con el Patrimonio edificado
- Implicar a los habitantes en la mejora del comportamiento ambiental de sus viviendas
- Promover la capacitación del capital humano -de profesionales y empresas aplicadores- del sector de la rehabilitación
- Diseñar y desarrollar herramientas innovadoras que apoyen la evaluación, la toma de decisiones y la gestión del comportamiento ambiental de la ciudad histórica
- Mejorar la calidad de la habitabilidad de las viviendas aumentando su confort y sostenibilidad, reduciendo costes de conservación y mantenimiento, y conservando y atrayendo población.
- Crear herramientas de gestión para la administración que permitan establecer el programa de actuaciones para la mejora ambiental y llevar a cabo el seguimiento del sistema y conseguir la reducción del consumo energético y de las emisiones de CO₂.

La coordinación, implantación y desarrollo de la estrategia para alcanzar los objetivos reseñados se articulará a través de programas de desarrollo, que varían dependiendo de las características estructurales de cada ciudad histórica.. La definición de cada uno de los programas obedecerá a una estructura metodológica común:

- Diseño del programa
 - Requisitos para su puesta en marcha
 - Estructura del programa
- Definición de contenidos, actuaciones y programación

8.2. Herramientas de soporte

Para la viabilidad de la propuesta metodológica integral es necesario el diseño de un sistema de herramientas interrelacionadas que gestionen y apoyen la generación del conocimiento, la toma de decisiones y la gestión de la mejora energética en la ciudad histórica. Estas herramientas posibilitaran la continua recogida y estructuración de datos además de que aportaran el apoyo necesario para la toma de decisiones, la implantación y el seguimiento de las mejoras.

8.2.1. Requisitos del sistema

Los requisitos identificados para el sistema de apoyo a la implantación y gestión del programa de rehabilitación energética son los siguientes:

- Motor de simulación térmica y energética basado en herramientas software ya existentes. Según el estado del arte uno de los mas adecuados podría ser el EnergyPlus.
- Tener en cuenta las características energéticas propias de la edificación tradicional (su comportamiento higrotérmico, inercia térmica, heterogeneidad de las soluciones...). Para ello se desarrollaran librerías específicas para los elementos característicos sobre la herramienta de simulación energética, basándose en la caracterización realizada en la fase de generación del conocimiento.
- Clasificación de las soluciones ofrecidas en base a criterios energéticos, económicos, repercusión espacial, impacto ambiental, etc. Se desarrollara una herramienta de apoyo a la toma de decisiones basada en los criterios desarrollados en la fase de diseño de la estrategia.
- Tener en cuenta los valores patrimoniales de las edificaciones históricas y considerar la legislación y normativa vigente específica a efectos de protección del patrimonio. La herramienta de apoyo a la toma de decisiones tendrá en cuenta la normativa a aplicar.
- Poder vincularse con las herramientas existentes o previstas (GIS, toma de decisiones...), posibilitando su retroalimentación. Para lo que se trabajara con estándares que posibilitaran la exportabilidad y la creación de soluciones software específicas: librerías específicas de los materiales y elementos característicos y/o singulares de cada centro histórico.
- La herramienta posibilitará trabajar a diferentes niveles de datos y precisión según el objetivo y los recursos disponibles, para lo que será necesario que la herramienta funcione con datos establecidos por defecto.

- Permitirá gestionar todo el conocimiento generado y la gestión de ayudas, para lo que se vinculará con un Sistema de Información Geográfica donde se centralizará la información.
- La integración de todas las evaluaciones energéticas individuales, que irá proporcionando una imagen real de la situación energética de la ciudad histórica, también posible gracias a la vinculación con un Sistema de Información Geográfica.
- La posibilidad de disponer todos los datos estructurados a nivel de edificio/vivienda y monitorización de los cambios y mejoras
- Todas las herramientas o módulos del sistema deberán interconectarse y retroalimentarse, para lo que la toma de datos para cualquiera de los módulos del sistema debería poder traducirse en un volcado de información directa en el GIS.

8.2.2. Descripción general del sistema

El sistema propuesto se corresponde con un sistema basado en un conjunto de herramientas software que proporcionan apoyo a la generación del conocimiento, y la gestión de la mejora energética de la ciudad histórica y que facilitarán la implantación y gestión del Programa de Rehabilitación Energética.

La siguiente figura muestra un modelo teórico de la estructura del sistema y los principales componentes desde el punto de vista funcional.

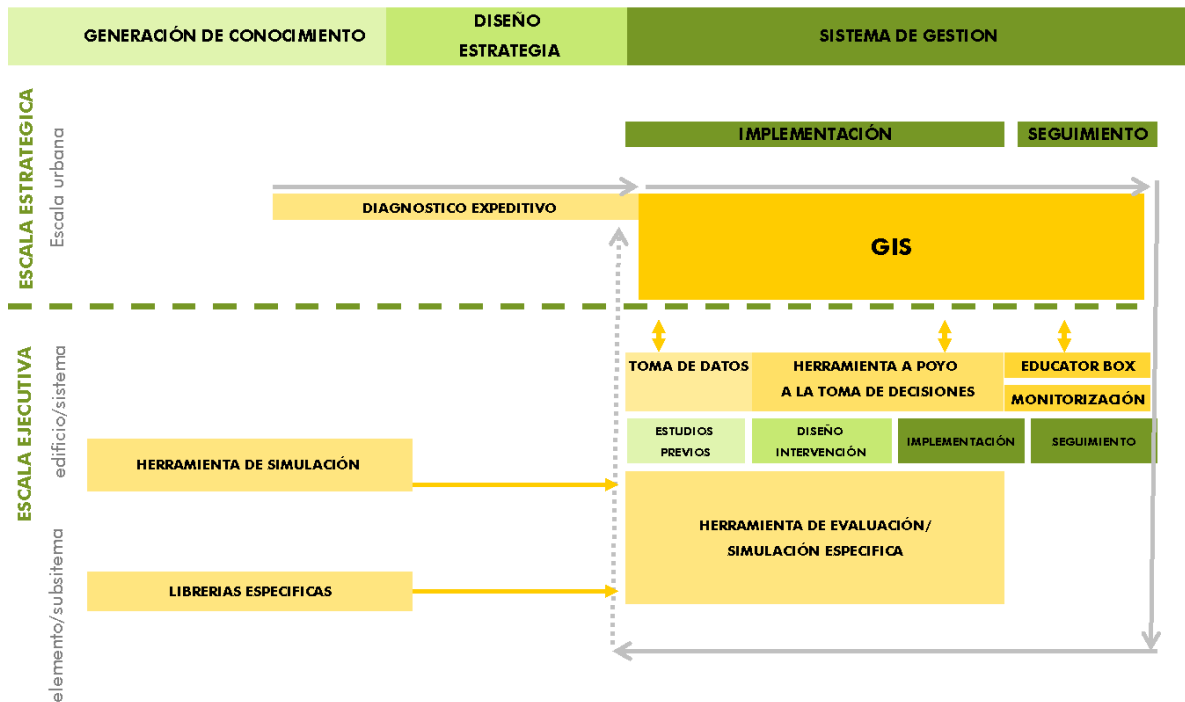


Esquema 16: modelo teórico de la estructura del sistema

Las aplicaciones estarán interconectadas y se retroalimentarán posibilitando una gestión integral.

8.2.3. Arquitectura del sistema

La arquitectura general del sistema y la vinculación de las diferentes herramientas se presenta en la siguiente figura:



Esquema 17: arquitectura general del sistema

El desarrollo del modelo del comportamiento energético de la ciudad histórica permitirá, además de la evaluación, la simulación de la efectividad de diferentes medidas. Esto unido a la metodología de toma de decisiones permitirá diseñar y desarrollar una herramienta informática de apoyo al diseño y a la toma de decisiones en la rehabilitación energética.

La apuesta por implementar formatos de trabajo tipo BIM (Building Information Model), posibilitará, mediante el estándar IFC, que los datos necesarios para evaluación energética se introduzcan de una forma sencilla en un motor de simulación energética como el EnergyPlus y posteriormente se puedan almacenar georreferenciados en el GIS, haciéndolos accesibles para posteriores aplicaciones. El modelo de datos IFC (Industry Foundation Classes), es un formato de archivo orientado a objetos desarrollado para facilitar la interoperabilidad en la industria de la construcción. Sirve para describir, intercambiar y compartir información utilizada en el sector de la industria de la construcción y la gestión de edificios, en lo que se ha denominado tecnología BIM (Building Information Modeling). La especificación IFC está desarrollada y mantenida por la Alianza Internacional para la Interoperabilidad (IAI).

8.2.4. Módulos del sistema

Sistema de información geográfica (GIS)

El GIS es origen y destino de la información asociada al Programa de Rehabilitación Energética. El trabajo de toma de datos que requiere el modelizado de las unidades edificatorias desde el punto de vista de la energía cubre casi todas las demandas de documentación del resto de Programas de Rehabilitación. Sin embargo además de destino de la información generada, el GIS es un muy buen punto de partida para el propio programa de rehabilitación energética. De esta forma, el GIS tendrá la función de estructurar toda la información que se vaya generando a medida que el programa avance y lo hará accesible a todos los agentes.

Herramienta de modelización energética

La herramienta para la modelización y simulación energética se basará en un motor de simulación térmica y energética existente (como EnergyPlus). Se requerirá la adaptación de la herramienta mediante la creación de librerías de materiales y soluciones constructivas específicas y la calibración mediante las medidas tomadas in situ. El desarrollo deberá tener en cuenta las características energéticas propias de la edificación tradicional (su comportamiento higrotermico, inercia térmica, heterogeneidad de las soluciones...) Algunas de las características de esta herramienta son:

- Generalista, aplicable y extensible a diferentes entornos y escenarios.
- La estructura de datos se basará en estándares para que pueda ser exportable a otras aplicaciones.
- La herramienta posibilitará trabajar a diferentes niveles de datos y precisión según el objetivo y los recursos disponibles.
- Incluirá las conclusiones del estudio de la gestión tradicional de la vivienda.

Herramienta de ayuda a la toma de decisiones

La herramienta pondrá al alcance de los técnicos, no siempre familiarizados con la eficiencia energética de la construcción tradicional y/o protegida los criterios, herramientas y conocimientos necesarios para que puedan plantear intervenciones de mejora energética eficaces. La herramienta y las funcionalidades que se le implementen se diseñarán para asegurar que cualquier técnico pueda entender claramente el proceso de toma de decisiones y pueda influir en él con su conocimiento del bien o su experiencia. El simulador energético nos proporcionará el grado de mejora energético de cada propuesta y la herramienta de toma de decisiones nos dará los datos sobre la viabilidad económica y el grado de compatibilidad con la edificación tradicional de cada solución planteada. De esta forma, de un modo iterativo, mediante la comunicación continuada entre el motor de cálculo y la herramienta de apoyo a la decisión, se podrá determinar cuál es la solución óptima que tenga en cuenta todos los condicionantes. La herramienta incluirá bases de datos con información de soluciones, criterios y recomendaciones desarrollados durante el proyecto y que se irá ampliando y actualizando con nuevos avances.

Otras herramientas

Las herramientas antes descritas conforman el núcleo, sin embargo, el sistema podrá completarse mediante la adición de las siguientes herramientas:

- Herramientas de apoyo a la toma de datos: la toma de la gran cantidad de datos necesarios se verá apoyada por dispositivos móviles que mediante aplicaciones web posibilitarán la toma de datos y posterior comunicación con el sistema. Funcionarán a dos niveles:
 - Escala urbana: diagnóstico expeditivo.
 - Escala edificio.

- Herramientas de apoyo al seguimiento: estas herramientas funcionarán a nivel ejecutivo y posibilitarán el apoyo de la gestión óptima de la unidad habitacional y el seguimiento de las mejoras implantadas.
 - Educator Box: herramienta de visualización didáctica que apoyará la gestión óptima.
 - Sistema de monitorización: sistema compacto de monitorización que posibilitará el seguimiento de la eficacia de las medidas adoptadas.

8.2.5. Software tipo BIM

Tal como se pudo comprobar en el estado del arte, las nuevas tendencias de software energético pasan por la utilización del BIM. La filosofía de trabajo BIM (Building Information Model) se basa en la idea de permitir al usuario resolver, a través de automatismos, la mayoría de la documentación requerida en un proyecto ejecutivo. En BIM no se trabaja con conceptos de elementos tridimensionales, sino con elementos constructivos con los que se puede documentar y gestionar el ejecutivo completo de cualquier proyecto. El usuario puede vincular información analítica, gráfica, técnica y/o constructiva relativa a cada edificio para el desarrollo de la documentación de un proyecto ejecutivo.

Disponer de la información en formato BIM y trabajar sobre ella cuando se realiza cualquier tipo de intervención posibilita la parametrización a nivel energético de los diferentes elementos constructivos, para ello será necesario establecer los protocolos de toma e intercambio de datos, para asegurar que los datos puedan ser utilizados por las aplicaciones evitando redundancias.

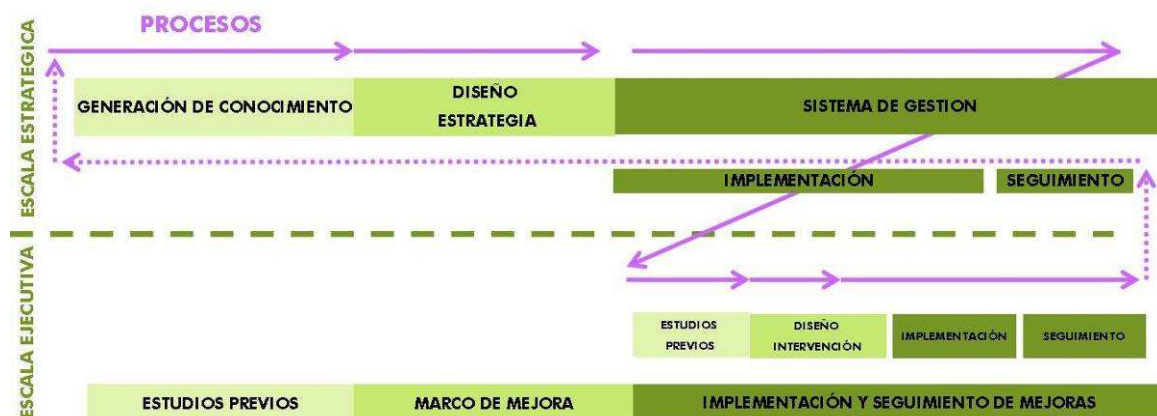
La relación entre la herramienta GIS y el software BIM viene definida por la georeferenciación de los elementos documentados en el software BIM. De esta manera cada uno de los edificios y sus elementos quedan definidos volumétrica y constructivamente, así como colocados en su posición en el espacio.

9. Propuesta del esquema metodológico general.

Para abordar el proceso, continuo e inacabado de conservación y actualización energética de la ciudad histórica, se ha optado por una variación en la estructuración de procesos de la metodología Patur, con el objetivo de poder abordar la dimensión estratégica e ejecutiva necesaria. Los subprocesos serían los siguientes:

- Subproceso 1: Generación del conocimiento
- Subproceso 2: Diseño de la estrategia
- Subproceso 3: Sistema de gestión, donde se integran:
 - Implementación
 - Seguimiento

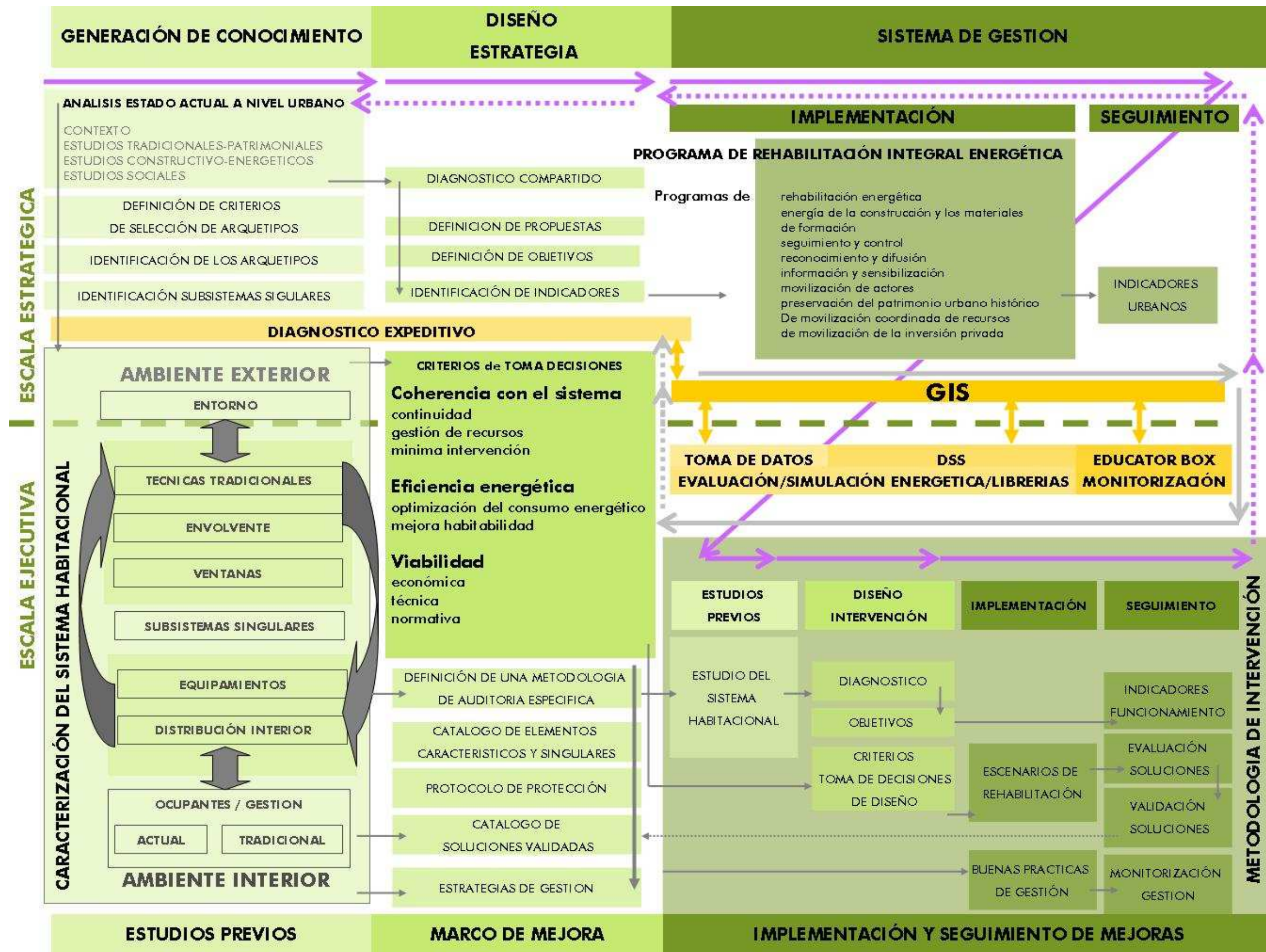
La estructura de la propuesta metodológica se puede ver en el siguiente esquema:



Esquema 18: estructura de los procesos

Esta metodología está basada en la concepción del patrimonio como proceso y por tanto, parte de la idea de que su conservación debe alinearse con su evolución y actualización. Por lo tanto, esta propuesta metodológica pretende, desde una visión operativa pero también garantista, aprovecharse de la permanente recogida y estructuración de datos que las nuevas tecnologías permiten para una generación de conocimiento continua que establezca las bases para una toma de decisiones tanto a nivel estratégico como ejecutivo, y para la posterior implantación y seguimiento. Una metodología fractal que repite el mismo esquema de proceso tanto a nivel estratégico (nivel urbano) como a nivel ejecutivo (edificio y elemento), donde los resultados de cada fase van retroalimentando las siguientes en un proceso iterativo de mejora continua.

Todo lo expuesto anteriormente se resume en el siguiente esquema que recoge la metodología integral y que se desarrollará en los siguientes apartados:



Esquema 19: esquema metodológico integral

9.1. Propuesta del esquema metodológico general.

El primer paso para la mejora energética de la ciudad histórica es el estudio de su estructura y, por tanto, de la interacción de las tres escalas que la componen: escala urbana, de edificio (sistema) y de elemento (subsistema). En esta fase no solo se estudia su estructura constructiva-energética si no que también se analiza la gestión tradicional de las viviendas con el objetivo de rescatar una sabiduría de gestión de la vivienda tradicional necesaria si se desea aprovechar al máximo el potencial energético inherente a esta.

9.1.1. Escala estratégica

En esta fase se realizara la el análisis actual a nivel urbano que nos permitirá la caracterización constructiva-energética de la ciudad histórica para la identificación de los casos representativos a estudiar (método arquetipos) de la población para el estudio de la gestión tradicional de la vivienda. Este proceso se articulara en cinco fases:

Fase 1: Análisis del estado actual a nivel urbano

El análisis del estado actual a nivel urbano contendrá entre otros los siguientes estudios:

1. Contexto:

- Estudios existentes
- Prioridades políticas
- Planimetría existente

2. Estudios Tradicionales-Patrimoniales

- Estudios históricos
- Estudios arqueológicos
- Catalogo patrimonial

3. Estudios Constructivo-Energéticos

- Análisis Climatológico:
 - Radiación solar
 - Temperatura
 - Media pluviometría
 - Régimen de vientos
 - Humedad
 - Tendencias a medio plazo (2050).
- Análisis Urbano
 - Disposición de manzanas
 - Diagramas de sección de calles
 - Orientación de fachadas
 - Acceso solar
 - Vegetación

- Espacios públicos: parques duros, aparcamientos públicos, zonas ajardinadas, cauces fluviales...
- Energías renovables
- Análisis Tipológico
 - Patios interiores
 - Hueco/macizo
 - Fondo edificatorio
 - Alturas
 - Orientación e inclinación solar de faldones de cubierta
 - Distribuciones interiores
 - Plantas bajo rasante
 - Usos predominantes y distribución en altura
 - N° plantas
 - Superficie
 - Fachadas expuestas
 - N° viviendas por edificio
- Análisis constructivo-energético
 - Sistemas
 - Materiales
 - Soluciones constructivas representativas
 - Patologías más frecuentes
 - Elementos característicos de la estructura energética de la ciudad histórica
 - tipos de ventanas
 - tipos de muros
 - tipos de galerías
 - elementos de sombreado
- Análisis evolución del contexto edificado
 - Año de construcción
 - Histórico de las rehabilitaciones/mantenimiento
- Consumos energéticos.

4. Estudios sociales

- Análisis Demográfico
- Patrones de uso de las viviendas
- Encuestas relevantes realizadas (confort, necesidades de rehabilitación...)

En la fase toma de datos es necesario valorar cuidadosamente los datos disponibles fácilmente, ya que la búsqueda de una mayor exactitud puede resultar en un coste mayor (económico pero también de tiempo) que puede no compensar. Las fuentes a consultar, entre otras, pueden ser:

- SIG
- Bibliografía
- Inspecciones visuales (“drive pass”)
- Entrevistas
- Planeamiento

La toma de datos de esta fase se puede apoyar en la herramienta de diagnóstico expeditivo.

Fase 2: Definición de criterios para la selección de arquetipos

La siguiente fase es la identificación de los casos representativos (los “arquetipos”), con el objetivo de que su estudio a nivel de edificio/manzana y elemento nos de la mayor información posible sobre la estructura energética de la ciudad histórica. Se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- a. Representatividad en la ciudad
- b. Tipología
- c. Características geométricas
- d. Características constructivo-energéticas
- e. Características históricas
- f. Parámetros operativos
- g. Situación en la trama urbana
- h. Otros (historia de rehabilitación, viabilidad de su estudio...)

Fase 3: Identificación de los arquetipos

Los arquetipos se elegirán mediante un método de agrupamiento (“Clustering process”) según los criterios definidos en la fase anterior. A la hora de identificar los arquetipos, se deberá tener en cuenta la estratificación de distintas etapas constructivas y re-constructivas que conviven en la ciudad histórica, se pondrá especial atención, en la validación de las soluciones de rehabilitación puestas en práctica recientemente.

Fase 4: Identificación de los subsistemas característicos y singulares

En esta fase se identificarán los elementos constructivos característicos y singulares desde el punto de vista energético-patrimonial, con la intención de su posterior estudio y caracterización como subsistemas singulares.

Por tanto, los elementos a estudiar se clasificarán en dos grupos:

- a. Elementos característicos: aquellos subsistemas representativos que configuran energéticamente la ciudad (muros, ventanas, cubiertas...). Su estudio nos permitirá

su caracterización y la posterior creación de librerías para su utilización en las herramientas software.

- b. Subsistemas singulares: subsistemas de especial consideración constructivo-energética específicos de la estructura de una ciudad histórica en concreto. Aunque su valoración patrimonial puede estar ya considerada desde su singularidad morfológica, se trata de aportar una nueva característica de valor patrimonial en tanto que elemento de carácter energético mediante el estudio de su comportamiento energético para determinar sus posibilidades de explotación eficiente.

Fase 5: Identificación de la población para el estudio tradicional de la gestión de la vivienda

Para la recuperación del conocimiento popular asociado al manejo histórico de la vivienda desde el punto de vista energético, y con el objetivo de intentar conseguir recuperar todo el potencial energético de la edificación tradicional se realizara un análisis de las mecánicas de uso de las viviendas según tipología constructiva y urbana mediante entrevistas estructuradas. Esta fase identificara la población a que se le realizaran estas entrevistas.

A continuación se puede ver esquema de este proceso:

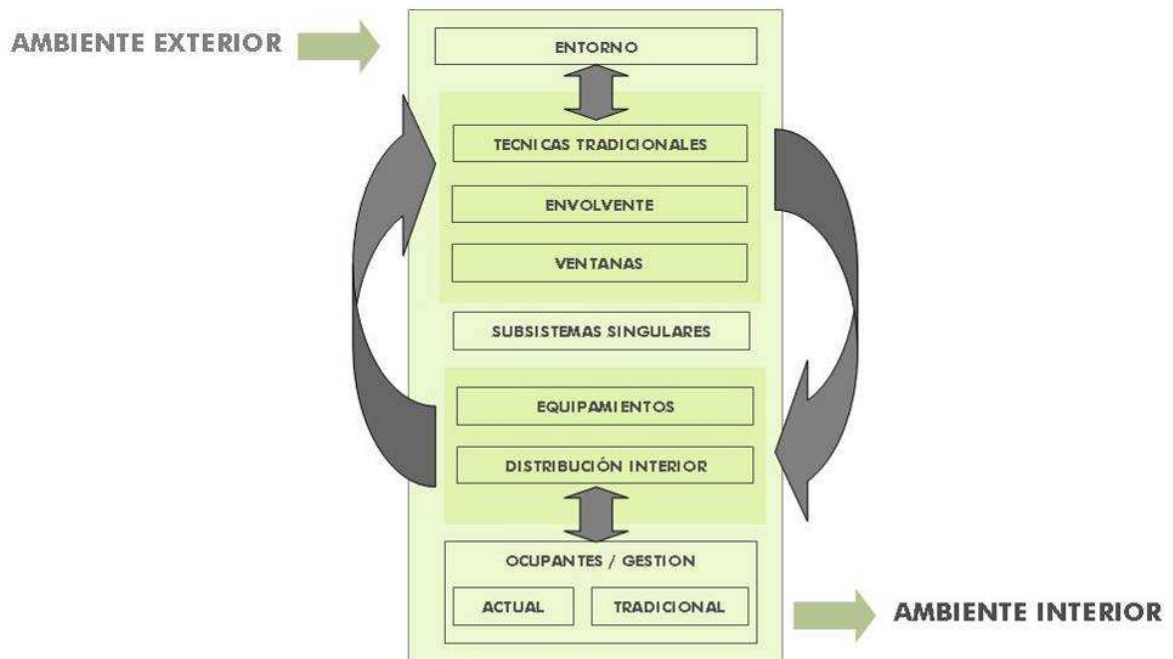


Esquema 20: esquema de la generación de conocimiento a nivel estratégico

9.1.2. Escala ejecutiva: estudio del sistema habitacional

La escala ejecutiva funciona tanto a nivel de sistema (caracterización del sistema habitacional) como a nivel de subsistema (caracterización de elementos singulares característicos). El estudio a nivel de sistema tendrá como objetivo el de caracterizar el funcionamiento de los diferentes subsistemas y la interrelación entre ellos. Estos subsistemas componen un complejo sistema tecnológico con la función de transformar el ambiente exterior en un ambiente interior habitable con el mínimo uso de la energía, por

tanto el ambiente exterior es la información de entrada y el ambiente interior la información de salida, tal como se puede ver en el siguiente esquema:



Esquema 21: estructura habitacional

La metodología para la caracterización del sistema habitacional es una adaptación de la metodología desarrollada dentro del proyecto "Edificación y Energía (EdEn)". (Proyecto singular estratégico de Tecnalia, financiado con fondos del Gobierno Vasco) a los requerimientos del estudio de la edificación tradicional. A continuación se definen las fases identificadas para este análisis energético:

Fase 1: Recopilación de información previa

En esta primera fase se reunirá toda la información previa disponible sobre el edificio en su conjunto y cada subsistema en concreto:

- Características del entorno
- Características constructivas del edificio o vivienda. Recopilación de los datos disponibles sobre los subsistemas en los que se descompone.
- Técnicas tradicionales constructivas
 - Envolverte
 - Ventanas
 - Distribución interior
- Identificación de subsistemas singulares si los hubiese

- Características de los equipos y los parámetros de facturación y consumo de electricidad y combustible anual (facturas de al menos un año completo)
- Encuestas a los ocupantes, con el objetivo de estudiar la gestión actual (y en su caso la tradicional).

En base a esta documentación se planificará el estudio.

Fase 2: Monitorización y toma de datos in situ

Se estudiará mediante monitorización y estudios in situ, el comportamiento del sistema y su relación con el ambiente exterior e interior.

→ Monitorización de los parámetros del ambiente interior y exterior (confort interior y temperaturas superficiales) (Subsistemas estudiados: ambiente interior/ exterior)

Para poder obtener un perfil de comportamiento real del edificio expuesto a diferentes condiciones climáticas exteriores, se monitorizarán ciertos parámetros durante un año completo o, en su defecto, durante al menos 2 meses en época invernal y otros 2 meses en época estival. Esta monitorización se realizará en los edificios seleccionados para su estudio contemplando los siguientes parámetros:

- Condiciones ambientales exteriores (temperatura, humedad y radiación solar incidente sobre la envolvente en estudio)
- Condiciones ambientales interiores (temperatura ambiente y humedad relativa en puntos característicos de la vivienda)
- Temperaturas superficiales sobre el exterior de la vivienda y en el interior de la misma, tanto en un muro opaco, como en la superficie de un hueco.

→ Análisis termográfico (Subsistemas estudiados: técnicas tradicionales constructivas/ envolvente/ ventanas)

Con objeto de poder identificar posibles puentes térmicos o irregularidades en la envolvente exterior de los edificios, se realizará un análisis termográfico de la misma. Esta inspección tendrá carácter únicamente cualitativo, pudiendo ser identificados los puntos más vulnerables del sistema en cuanto a pérdidas de calor se refiere. La norma para este tipo de análisis termográfico es la ISO 6781

→ Análisis de infiltraciones (Subsistemas estudiados: técnicas tradicionales constructivas/ envolvente/ ventanas)

Puesto que una de las características más importantes de la construcción tradicional es la alta tasa de infiltraciones de aire existente, será importante medir el nivel existente en la vivienda o zona del edificio en estudio para poder establecer su influencia en el consumo energético. La medida de infiltraciones se realizará mediante la técnica de la puerta ventilador, según la norma ISO 9972. La prueba de puerta ventilador aporta el nivel de infiltraciones dado en la vivienda, si bien, no proporciona información sobre los lugares donde estas se producen. Para intentar localizar los puntos de fugas, el ensayo de infiltraciones se apoyará en el análisis termográfico. Este análisis no garantiza la localización

correcta de todos los puntos origen de infiltración, pero puede ser útil para la identificación de al menos algunos puntos.

→ Análisis termoflujométrico de muros opacos (Subsistemas estudiados: envolvente/distribución interior)

Este análisis se realizará en zonas representativas de la fachada exterior para comprobar el flujo de calor existente a su través. Este ensayo se realiza a nivel de subsistema.

→ Monitorización del consumo eléctrico (Subsistemas estudiados: equipos)

Se realizara una monitorización continua a través de un sistema de adquisición de datos conectado al propio contador de la compañía comercializadora. En caso de que la vivienda o edificio analizado disponga de calefacción o refrigeración eléctrica, esta medida permite relacionar las temperaturas medidas con la cantidad de energía aportada para lograrlas.

→ Revisión y medidas en las instalaciones de calefacción, refrigeración y ACS (Subsistemas: equipos)

Este estudio consistiría en la inspección general de la instalación en cuanto a aislamiento, posible regulación y control, temperaturas de consigna, régimen de funcionamiento, etc. Para calcular el rendimiento de los equipos generadores de calor, en caso de ser calderas a base de combustible, se realizaría un análisis de combustión de calderas.

→ Revisión y medida de la instalación de iluminación (Subsistemas estudiados: equipos)

La inspección de iluminación consistiría en la identificación de la iluminación instalada (inventario de luminarias, lámparas y equipos auxiliares en cuanto a número, potencias, horas de uso, controles, aprovechamiento natural, etc). Además, esta inspección se complementará con la medida de la intensidad lumínica en zonas tipo mediante luxómetros.

Fase 3: Análisis energético y simulación

Con los datos obtenidos durante las fases anteriores, y mediante la ayuda de una simulación energética mediante un programa de modelización, se realizará el análisis energético del edificio o vivienda en estudio, obteniendo las conclusiones correspondientes en relación con su consumo energético.

9.1.3. Escala ejecutiva: estudio de los subsistemas característicos y singulares

Esta fase tiene como objetivo el completar el estudio mediante la caracterización de los subsistemas característicos y singulares más en detalle desde un punto de vista físico-térmico. Algunos de los elementos característicos a estudiar podrían ser:

- Muros tradicionales: será importante conocer la transmitancia térmica U que presenta en condiciones reales de funcionamiento, así como sus propiedades en cuanto a porosidad y transmisión de humedad.

- Ventanas: el estudio de los diferentes tipos de ventanas existentes se centrará en la observación para la identificación de los materiales que las componen y los posibles problemas que puedan presentar en cuanto a deficiente estanqueidad.
- Cubierta: la caracterización de las cubiertas será similar a la de los muros tradicionales, si bien en este caso no se aplicará el ensayo termoflujométrico puesto que las características geométricas y constructivas de las cubiertas hacen poco efectivo el análisis.

La caracterización de estos elementos se puede resumir en las siguientes fases:

Fase 1: Identificación de los tipos

En primer lugar se deberán identificar y clasificar en diferentes tipologías los distintos tipos de elementos existentes en función de los materiales que los componen, sus características térmicas, sistemas de unión, orientación...

Fase 2: Inspección visual

Para cada tipo definido se realizará una inspección visual con objeto de identificar materiales, posibles irregularidades o patologías que presenten los elementos. También se recogerán las impresiones de los usuarios.

Fase 3: Toma de muestras para análisis en laboratorio

Siempre que sea posible y necesario se tomará una cata de cada tipo de elemento definido en la fase anterior para realizar un ensayo de laboratorio en el que se identifique sus características.

Fase 4: Obtención de las características térmicas

En el caso de los muros: En esta fase se realizará un ensayo termoflujométrico para obtener el valor de transmitancia térmica que presenta el mismo (U). El ensayo se realizará según la norma ISO 9869.

En el caso de las ventanas: se tomará una muestra de las temperaturas superficiales que presenta las diferentes secciones de la ventana comparándolas con aquellas que presenta el muro opaco adyacente.

Fase 5: Estudio del subsistema en el conjunto del sistema

Esta fase de desarrollará al realizar el estudio energético del sistema en su conjunto.

Además de los elementos característicos deberán estudiarse especialmente los subsistemas singulares del centro histórico desde el punto de vista energético. La metodología para su estudio variara dependiendo del tipo de elemento del que se trate, por lo que habrá que diseñarla en cada caso cuidadosamente. Un ejemplo de estos subsistemas singulares puede ser el de las galerías del centro histórico de Santiago de Compostela.

9.1.4. Escala ejecutiva: estudio de la gestión tradicional

El estudio de la gestión tradicional se realizara mediante entrevistas in-situ con el soporte de una ficha de registro de información en la que se recojan:

- las características de la vivienda (edad, materiales, tipología, ubicación, etc.),
- la gestión de la vivienda en cuanto a los hábitos de uso históricos para lograr la optimización de su confort interior (registrados por estación del año y diferentes momentos del día)
- apartado abierto destinado a recoger otros usos o costumbres que no hayan sido tenidos en cuenta y puedan ser de interés para comprender la optimización energética en el uso de la vivienda.

La información de estas entrevistas se complementará con la toma de fotografías y otras informaciones aportadas por las personas entrevistadas. Las entrevistas tendrán un doble objetivo: por un lado la recogida de información sobre los usos tradicionales para la optimización energética, y por otro lado la puesta en valor de ese conocimiento desde la valoración y concienciación a las personas entrevistadas.

9.2. Diseño de la estrategia

Para la mejora del escenario complejo que supone la gestión energética de la ciudad histórica es necesario el desarrollo de teoría y modelos para seleccionar y priorizar intervenciones compatibles con los valores patrimoniales y sistemas de gestión energética que optimicen el comportamiento de los ocupantes y el funcionamiento óptimo tradicional de la vivienda tradicional.

9.2.1. Escala estratégica

Para definir la estrategia es necesario que el diagnóstico desarrollado en la primera fase sea compartido por todos los agentes implicados. En una segunda fase se elaboran las propuestas concretas de actuación para la mejora energética del centro histórico. El proceso de generación de propuestas también tiene que ser compartido entre los agentes que participan en el diseño de la estrategia. Se definirán propuestas en los siguientes ámbitos:

- En el ámbito energético: definición de zonas de actuación, ahorro de la demanda energética...
- En el ámbito ambiental: reducción de contaminantes, gestión de residuos, reducción de emisiones de CO2...
- En el ámbito patrimonial: nuevas formas de intervención, de conservación y valorización de la ciudad histórica.
- En el ámbito social: apropiación responsable del patrimonio energético por parte de los habitantes, mejora de la habitabilidad...

Para comparar distintas propuestas se utilizarán los criterios de toma de decisiones definidos anteriormente:

Subcriterios de Coherencia con el sistema

- La continuidad de la diversidad cultural
- Mínima intervención
- Optimización de la gestión de recursos

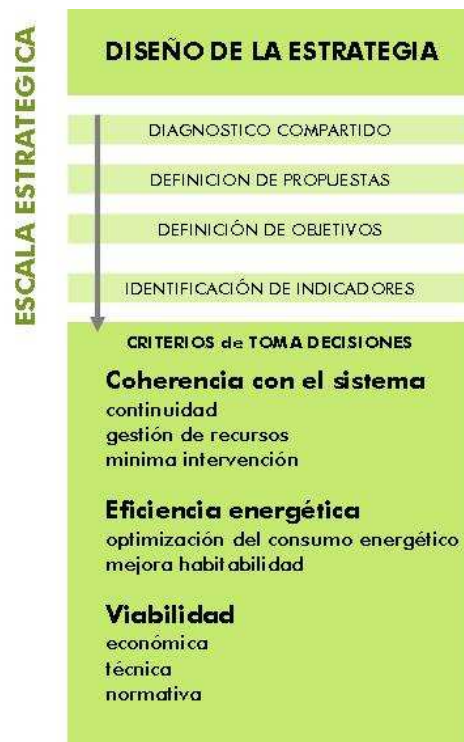
Subcriterios de Eficiencia Energética

- Subcriterio de optimización del consumo energético
- Mejora de la habitabilidad

Subcriterios de Viabilidad

- Viabilidad técnica
- Viabilidad económica
- Viabilidad normativa

Una vez seleccionadas y definidas las propuestas se establecerán los objetivos concretos de cada una y los plazos previstos para su puesta en marcha. Para asegurar un proceso fiable de seguimiento de los resultados, se definirán los indicadores de referencia y los valores que se quieren que alcancen. Este proceso se puede ver en el siguiente esquema:



Esquema 22: diseño de la estrategia

9.2.2. Escala ejecutiva

Esta fase tiene como objetivo establecer los criterios, basados en el conocimiento adquirido en la primera fase, para que a la hora de la toma de decisiones, sea posible identificar las soluciones óptimas en cuanto al equilibrio entre el confort interno, el impacto ambiental global, el impacto en el valor patrimonial y la viabilidad técnica y económica. Se establecerán también los criterios que deberán cumplir las nuevas soluciones tecnológicas que vayan surgiendo para su utilización en el centro histórico. Por tanto, a nivel ejecutivo, la fase de diseño de la estrategia sentara las bases para la metodología de intervención que se desarrollara en la fase de gestión

Para ello se desarrollaran las siguientes fases:

1. Definición de la metodología de apoyo a la toma de decisiones, basándose en el árbol de decisiones desarrollado en el apartado 7.4.
2. Definición de una metodología simplificada del estudio del sistema habitacional, que posibilite la fase de evaluación y diagnóstico de la fase de intervención y que este basada en el conocimiento generado en la primera fase.
3. Catálogo de elementos urbanos y constructivos característicos y singulares donde se catalogaran los subsistemas característicos y singulares identificados en la primera fase.
4. Se establecerá un protocolo de protección que asegure que cualquier acción respetara la autenticidad y la integridad del patrimonio de la ciudad histórica.
5. El estudio de la primera fase y el desarrollo de los criterios de la toma de decisiones permitirán el establecer un catalogo de soluciones validadas. La mejora continua del proceso posibilitara que estas soluciones validadas vayan aumentando a medida que el conocimiento sobre las posibilidades de adaptación de la ciudad histórica vaya aumentado. Se evitara la adopción de soluciones traducidas literalmente de la edificación nueva de las que no se tiene constancia de su compatibilidad y, a menudo, ni siquiera de su rendimiento energético real. En este sentido es esencial el análisis de soluciones constructivas y técnicas tradicionales (de mantenimiento, de reparación e integración) pero también soluciones innovadoras para la mejora pasiva del comportamiento energético de los edificios. También se estudiaran soluciones de mejora activa de bajo impacto para el edificio y el medioambiente.
6. El estudio y la adaptación de la gestión tradicional de los edificios tradicionales sentaran las bases para la identificación de las estrategias de gestión que optimicen y aprovechen todo el potencial energético de las edificaciones preindustriales.

El proceso se puede ver en el siguiente esquema:



Esquema 23: diseño de la estrategia a nivel ejecutivo

9.3. Sistema de Gestión

La implantación del conocimiento y medidas de rehabilitación energética o de segunda generación identificadas en las fases anteriores es un proceso que requiere de una planificación adecuada que sincronice el escenario temporal en el que se lleva a cabo con la coordinación de los diferentes ámbitos de actuación.

9.3.1. Implementación a escala estratégica: Programa de Rehabilitación Integral Energética de la Ciudad Histórica

Tal como se ha comentado anteriormente, la implementación se realizara mediante el lanzamiento de un Programa de Rehabilitación Integral Energética de la Ciudad Histórica. Se articularan todos los requisitos y aspectos estructurales de forma integrada mediante la elaboración, definición y diseño de programas específicos que variaran dependiendo de las características de cada ciudad histórica. Algunos de estos programas podrían ser:

Programa de rehabilitación energética

Contendrá el diseño del desarrollo de las actuaciones e intervenciones, el alcance y tipo de planes de mejora continua y la programación del desarrollo del plan. Definirá también el marco de mejora general, definiendo los objetivos, criterios y protocolos de selección de soluciones y toma de decisiones, y de intervención. Del mismo modo definirá las medidas

de utilización del sistema habitacional, de gestión microclimáticas y gestión de la energía; y las medidas de conservación y mantenimiento del proceso de mejora continua.

Programa de energía de la construcción y los materiales

Tendrá por objetivo establecer en los procesos de intervención la evaluación ambiental durante todo el ciclo de vida, mediante la elaboración de las directrices vinculadas a la energía de los materiales, los procesos constructivos y de las condiciones de habitabilidad y mantenimiento que serán recogidos en los pliegos de contratación y nuevas ordenanzas.

Programa de formación

Tiene por objetivo avanzar en la continuidad patrimonial del sistema habitacional y el desarrollo de mejora mediante la formación de los diferentes profesionales que intervienen en el proceso de implementación de la mejora, de las características tecnológico-constructivas de la arquitectura vernácula, de las nuevas tecnologías de mejora y de las nuevas herramientas de apoyo, así como el marco de mejora.

Programa de seguimiento y control (ambiental)

Tiene por objeto evaluar y monitorizar la evolución de la mejora y el comportamiento de las medidas adoptadas, así como la validación de las soluciones adoptadas, mediante la integración de todos los sistemas de monitorización y gestión.

Programa de reconocimiento y difusión (puesta en valor)

Tendrá por objetivo la puesta en valor del sistema habitacional, de los subsistemas singulares y de la gestión tradicional, y definirá las formas de reconocimiento y difusión de los valores ambientales del patrimonio edificado del área urbana histórica.

Programa de información y sensibilización

Tendrá por objetivo transferir a los habitantes o usuarios del patrimonio las medidas de gestión óptimas del sistema habitacional, además de las medidas de conservación y mantenimiento del proceso de mejora continua

Programa de movilización de actores

Tendrá por objetivo avanzar en los procesos de implicación de población y agentes vinculados con la rehabilitación y mejora de la eficiencia energética de la ciudad, mediante la participación activa de todos ellos en el proceso de implementación que permita avanzar en la comprensión y aceptación por parte de los ciudadanos de las políticas y herramientas de protección del patrimonio, garantizando así un mayor cumplimiento de las mismas y un mayor esfuerzo ante la rehabilitación; y movilizar la financiación del mayor número de actores incluidos los propios ciudadanos.

Programa de preservación del patrimonio urbano histórico

Tiene por objetivo avanzar en la preservación y salvaguarda del patrimonio edificado desde el nuevo prisma de valoración ambiental y energética, en tres vías:

- la definición, dentro del diseño de la estrategia, de los protocolos de protección y prevención.
- la definición de un protocolo de valorización del patrimonio como base para la definición de las actuaciones.
- la definición de un protocolo de toma y organización de los datos recopilados que sirva de base para la revisión de las figuras de protección del planeamiento.

Programas de movilización de la inversión privada

Tiene por objeto la gestión de la financiación pública y la movilización de la financiación privada, mediante el desarrollo de políticas de incentivo y subvención. Se definirán para ello las directrices y ordenanzas que articulan dichas políticas.

9.3.2. Seguimiento a escala estratégica: indicadores urbanos

El mecanismo de seguimiento y de revisión de los objetivos marcados en la fase de diseño de la estrategia se realizara mediante los indicadores de referencia que se identificaron en la fase de diseño de la estrategia.

9.3.3. Implementación y seguimiento a escala ejecutiva: metodología de intervención

La implementación a escala ejecutiva se realiza mediante una metodología de intervención que vuelve a repetir el esquema de la metodología integral de una forma fractal. En el siguiente esquema se puede ver la metodología:



Esquema 24: metodología de intervención

Esta metodología de intervención estará apoyada por las herramientas diseñadas. Se establecerán cuatro procesos:

Estudios previos: se realizara el estudio simplificado del sistema habitacional mediante la metodología simplificada definida en la fase de diseño de la estrategia, que se apoyara en el dispositivo de ayuda a la toma de datos.

Diseño de la intervención, constara de las siguientes fases:

- Diagnostico: se apoyara en las librerías específicas para la simulación energética.
- Para el establecimiento de los objetivos de funcionamiento y la toma de decisiones de las medidas a implantar el técnico se apoyara en el sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS).

Implementación, constara de las siguientes fases:

- Escenarios de Rehabilitación: se trata de un plan de medidas de mejora específico de cada edificio donde se establece una programación consensuada con el ocupante.
- Buenas prácticas de gestión: las estrategias de gestión nos posibilitara establecer buenas prácticas de gestión específicas para cada edificio que aprovechen todo su potencial energético.

Seguimiento

- Indicadores de funcionamiento
- Evaluación de soluciones
- Validación de soluciones, que permitirá la introducción de nuevas soluciones al catalogo de soluciones.
- Ayuda/monitorización a la gestión.

10. Evaluación de la aplicabilidad en el caso de Santiago de Compostela

Para comprobar la viabilidad de la propuesta era necesario testar su aplicabilidad en una ciudad histórica concreta. Para ello se eligió Santiago de Compostela y se trabajó con los técnicos del Consorcio de Santiago como posibles usuarios finales. El Consorcio de Santiago es una institución de titularidad municipal, personalidad jurídica y patrimonio propios, participada por el Gobierno de España (60%), el Gobierno regional de Galicia (35%) y el Gobierno municipal de Santiago de Compostela que propone, promueve y tutela, financiera y técnicamente hasta su materialización, iniciativas y proyectos de calidad para la ciudad de Santiago de Compostela, fomentando siempre la coordinación y cooperación leal y activa entre las diversas administraciones y agentes.

Además de su labor financiera y técnica para el desarrollo de infraestructuras, equipamientos e incorporación de espacios verdes al dominio público, la labor de rehabilitación e intervención en monumentos, edificios singulares y espacios libres, desarrollada siempre en estrecha colaboración con los habitantes, se traduce en la realización de más de 1.500 intervenciones en edificios, viviendas y locales comerciales desde 1994 a través de la cual ha integrado el conocimiento técnico sobre los valores constructivos esenciales del caserío y su eficiente adaptación al medio, donde la economía, entendida en sentido amplio, estructura un discurso que señala el esencial carácter sostenible del patrimonio urbano.

De este modo la ciudad de Santiago de Compostela podría ser uno de los mejores de los escenarios posibles para la puesta en marcha de un Programa de Rehabilitación Energética, debido a todo el trabajo previo de renovación urbana vivido durante los últimos 20 años. Y el Consorcio de Santiago, por su dilatada experiencia en gestión de programas de intervención en la ciudad, aparece como uno de los organismos más idóneos para comprobar la aplicabilidad de la presente propuesta en un caso real.

10.1. Metodología de trabajo

La evaluación de la aplicabilidad de la metodología se ha desarrollado mediante diferentes reuniones de trabajo con técnicos del Consorcio. Los temas que se trataron en las reuniones:

- Aproximación energética-patrimonial a la ciudad histórica
- Requisitos para un programa de Rehabilitación Energética
- Aplicación de la metodología de estudio de la estructura energética al caso de Santiago
- Integración de la metodología integral dentro de la estructura del Consorcio
- Integración de las herramientas de apoyo con las herramientas existentes en el consorcio

Algunos técnicos que participaron en las reuniones:

- Ángel Panero, director de la oficina técnica.
- Lourdes Pérez Castro, director técnico oficina técnica.
- Carolina García, arquitecta de la oficina técnica
- Adrián Martín, arquitecto de la oficina técnica
- Jose Manuel Lopez, Quicler-Lopez ingenieros

10.2. Resultados

Los principales resultados obtenidos son los siguientes:

- Validación de la aplicabilidad de la aproximación energética-patrimonial a la ciudad histórica propuesta.
- Validación de los requisitos para un programa de Rehabilitación Energética para la ciudad histórica.
- Validación de la aplicación de la metodología de estudio de la estructura energética al caso de Santiago.
- Identificación de las posibilidades de integración de la metodología dentro de la estructura del Consorcio, sus procesos de trabajo y de sus actuales programas en marcha.
- Validación de la compatibilidad de las herramientas de apoyo con las herramientas existentes en el consorcio

11. Conclusiones

El presente trabajo tenía como objetivo principal el estudiar los aspectos específicos y diferenciales del acercamiento energético-patrimonial a la ciudad histórica y la propuesta de un esquema metodológico integral para la mejora y gestión de su eficiencia energética a escala urbana. Los resultados de este trabajo se pueden resumir en las siguientes conclusiones:

1. Se ha realizado un análisis crítico del estado del arte sobre los aspectos específicos de la mejora energética en la ciudad histórica.
2. Se han establecido los aspectos claves para una aproximación energética-patrimonial propia de la ciudad histórica:
 - a. La relación entre la conservación y los criterios de sostenibilidad y habitabilidad
 - b. El aspecto energético como nuevo valor patrimonial, alineado con las exigencias medioambientales, económicas y sociales actuales que puede ayudar a reformular la forma en la que se interviene en el patrimonio.
3. Se han definido los requerimientos para un esquema metodológico integral que articule los procesos necesarios para la mejora de la habitabilidad de la ciudad histórica como un paso más dentro del proceso de actualización de su función histórica como sistema tecnológico para habitar.
4. Se ha propuesto un esquema metodológico integral que estructura a nivel estratégico y ejecutivo los procesos necesarios para una mejora continua:
 - a. El proceso de generación de conocimiento, abordando desde la escala urbana a la unidad habitacional y a los subsistemas que lo componen desde un enfoque sistémico que asuma su dinámica, complejidad y heterogeneidad y que permita el estudio de todos sus elementos y la interdependencia entre ellos, abordando a su vez su componente patrimonial y antropológico.
 - b. El proceso para el diseño de la estrategia que mejore la habitabilidad desde criterios de viabilidad y de coherencia con el sistema de la ciudad histórica donde la sostenibilidad y la conservación son procesos inseparables.
 - c. El proceso para la implantación y el seguimiento de la estrategia diseñada a través de un programa de rehabilitación energética a nivel estratégico, una metodología de intervención a nivel ejecutivo y un sistema de herramientas software de apoyo que posibilita la continua recogida y estructuración de la información, el proceso de toma de decisiones y la implantación y el seguimiento de la estrategia
5. Se ha evaluado la aplicabilidad de la metodología para el caso de la ciudad histórica de Santiago de Compostela mediante reuniones de trabajo con técnicos del Consorcio de Santiago.

12. Bibliografía

Alanne K., Selection of renovation actions using multi-criteria “knapsack” model
Automation in Construction 13 (2004) pp.377–391

Al-Homoud M.S, Computer-aided building energy analysis techniques, *Building and Environment* 36 (2001) pp. 421–433

Baker N., Steemers K., The LT method, in: J.R. Goulding, J. Owen Lewis, T.C. Steemers (Eds.), *Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook*, Batsford for the Commission of the European Community, London, 1992

Brandt E., Rasmussen M.H., Assessment of building conditions, *Energy and Buildings* 34 (2) (2002) pp. 121–125

Campesino Fernández, J. A.: *Ciudades Históricas: Conservación y desarrollo*, Fundación Argentaria, 2000

R. Cantin, J. Burgholzer, G. Guarracino, B. Moujalled, S. Tamelikecht and B.G. Royet, Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in France, *Building and Environment* 45 (2) (2010), pp. 473–484

Cardinale N, Rospì G, Stazi A, Energy and microclimatic performance of restored hypogeous buildings in south Italy: The “Sassi” district of Matera, *Building and Environment*, Volume 45, Issue 1, (2010), pp 94-106

Castillo, M. A. (Ed.): *Centros Históricos y Conservación del Patrimonio*, Fundación Argentaria, 1998

Cassar M., *Sustainability and the historic environment* Centre for Sustainable Heritage 2006

Chen Z., Clements-Croome D., Hong H., Q. Xu, A multicriteria lifespan energy efficiency approach to intelligent building assessment, *Energy and Buildings* 38(2006) 393–409

Coch, H: *Bioclimatism in vernacular architecture*, 1998

Convención de Patrimonio Mundial de 1972, la UNESCO Carta de Washington de 1987

Cuchí, Albert Informe previo a la actuación urbanística en las Brañas de Sar en Santiago de Compostela 2008

Choay, F. *El Urbanismo: Utopías y Realidades*, Editorial Lumen, Barcelona, 1970

Crawley Drury B., Lawrie Linda K., Winkelmann Frederick C., Buhl W. F., Joe Huang Y., Pedersen Curtis O., Strand Richard K, Liesen Richard J., Fisher Daniel E., Witte Michael J., Glazer Jason, *EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program*, *Energy and Buildings*, Volume 33, Issue 4, April 2001, pp. 319-331

Dascalaki E., Santamouris M., On the potential of retrofitting scenarios for offices, *Building and Environment* 37 (6) (2002) pp 557–567

Diakaki C., Grigoroudis E., Kolokotsa D. Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings, *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 9, 2008, pp 1747-1754

English Heritage, *Building Regulations and Historic Buildings Balancing the needs for energy conservation with those of building conservation: an Interim Guidance Note on the application of Part L*, 2002

Fernández-Coronado González, R.: *El proceso de rehabilitación de los centros históricos: planificación urbana y participación ciudadana*, Arxius de Ciències Socials, 2004

Flourentzou F., Roulet C.-A., *Elaboration of retrofit scenarios*, *Energy and Buildings* 34 (2002) pp.185–192.

Funtowicz, S, Ravetz, J: *The poetry of thermodynamics*, 1997

Gero J.S., Neville D.C., Radford A.D., *Energy in context: a multicriteria model for building design*, *Building and Environment* 18 (3) (1983) pp.99–107

Giambruno, M. C.: *La dimensione urbana della conservazione*. Alinea editrice, 2004

Goodacre C., Sharples S., Smith Peter, *Integrating energy efficiency with the social agenda in sustainability*, *Energy and Buildings* 34 (1) (2002) pp.53–61

Gupta, R. *Reducing Carbon Emissions from Oxford city: Plans and Tools*

Hanna R, *Environmental appraisal of historic buildings in Scotland: the case study of the Glasgow School of Art* *Building and Environment*, Volume 37, Issue 1, January 2002, pp 1-10

Haughton G., Hunter C, “Sustainable cities”. Jessica Kingley. 1994

Hong T., Chou S.K., Bong T.Y. *Building simulation: An overview of developments and information sources* (2000) *Building and Environment*, 35 (4), pp. 347-361

Instituto Nacional de Estadística, “Censo de Población y Viviendas 2001”

ICOMOS, 1987. *Charter For The Conservation of Historic Towns And Urban Areas* (Washington Charter 1987)

Jaggs M., Palmar J., *Energy performance indoor environmental quality retrofit—a European diagnosis and decision making method for building refurbishment*, *Energy and Buildings* 31 (2000) pp.97–101

Jones PJ, Lannon S, Williams J. *Modelling building energy use at urban scale*. IBPSA, seventh international conference, Rio de Janeiro, Brazil; 2001

Kaklauskas A., Kazimieras E., Raslanas S., *Multivariant design and multiple criteria analysis of building refurbishments*, *Energy and Buildings*, Volume 37, Issue 4, April 2005, pp 361-372

Keeney, R.L., Decision analysis: an overview. *Operation Research* 30 5 , (1982) 803–838.M. Krarti, *Energy Audit of Building Systems*, CRC Press, Boca Raton, London, NewYork, 2000

Koch, Andreas: *energy balance of urban quarters for the development of energy efficiency and Management strategies*, 2002

Kusuda T., *Building environment simulation before desk top computers in the USA through a personal memory*, *Energy and Buildings* 33 (4) (2001) pp 291–302

Levine Richard S., Hughes Michael Ryan, Mather Casey, *Designing the Future Sustainable City: Projecting Sustainability from Seven Villages in China PLEA2005 - The 22nd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Beirut, Lebanon, 13-16 November 2005*

Luxan, Margarita: *Arquitectura eco-logicamente consciente Arquitectos*, número 155, 2000

Mahdavi A. *Reflections on computational building models Building and Environment*, 39 (8 SPEC. ISS.), 2004, pp. 913-925

Marat Mendes Teresa, Albareda Fernández Elena, *Agua, Patrimonio y Territorio: un modelo sostenible para la revitalización y rehabilitación de barrios*, Congreso Regional Internacional Sustainable Building SB10mad 2010

Margalef, R. *Teoría de los sistemas ecológicos*, Edición de la Universidad de Barcelona, Barcelona, 1993

Mumford, Lewis *La Ciudad en la Historia*, Editorial Infinito, B. Aires, 1979

Panero, A, “El patrimonio histórico como motor de la transformación urbana: el caso de Santiago de Compostela” Seminario “Patrimonio, paisaje y sostenibilidad territorial”. Observatorio de Sostenibilidad en España. 2009

Parekh A., *Development of archetypes of building characteristics libraries for simplified energy use evaluation of houses. IBPSA, ninth international conference, Montreal, Canada; 2005*

Pianezze F., *Energy efficiency and conservation: a systematic approach to knowledge, Management and restoration Project of historical buildings*

Power, A: *Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability?* 2008

Proyecto PATUR I., “Metodología de regeneración y gestión de la conservación de la áreas urbanas históricas” resultado validado reunión de expertos Noviembre 2007

Proyecto Patur II. Entregable final, 2008

Proyecto Patur II., “Guía de Gestión de las áreas urbanas históricas”. Resultado validado en caso Piloto de la ciudad histórica de Segovia. Mayo-Noviembre 2008

Ravetz, J State of the stock- What do we know about existing buildings an their future prospects? 2008

Redclift, Michael. 1987. Sustainable Development :Exploring the Contradictions. London, Routledge,Kegan & Paul

REHABIMED, Método Rehabimed para la Rehabilitación de la Arquitectura Tradicional Mediterránea, Documento de Trabajo, Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Barcelona, España. 2005

Rey E., Office building retrofitting strategies: multicriteria approach of an architectural and technical issue, *Energy and Buildings* 36 (2004) 367–372

Roca Cladera, J. (Ed.): La intervención en el centro histórico. I jornada de Rehabilitación. Col·legi oficial d'arquitectes de Balears, 1992

Rodríguez Álvarez J, Rehabilitación energética del tejido urbano residencial. Evaluación previa para una mayor eficiencia, Congreso Regional Internacional Sustainable Building SB10mad 2010

Rodwell D.,Conservation and Sustainability in Historic Cities, Wiley-Blackwell, May 2007

Rosenfeld Y., Shohet I.M., Decision support model for semi-automated selection of renovation alternatives. *Automation in Construction* 8 (1999), pp. 503–510

Saporito, A.R., Day, T.G. Karayiannis, F. Parand, Multi-parameter building thermal analysis using the lattice method for global optimisation, *Energy and Buildings* 33 (3) (2001) pp. 267–274

Strange, I, Planning for change, conserving the past: towards sustainable development policy in historic cities? 1997

Siskos Y., Grigoroudis E.,Matsatsinis N.F, UTAmethods, in: J. Figueira, S. Greco,M. Ehrgott (Eds.), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*,Springer, New York, 2005, pp. 297–344

Swan L. G., V. Ugursal I., Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issue 8, (2009) pp. 1819-1835

Vazquez-Espi, M: Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales,Ciudades para un Futuro más Sostenible, Instituto Juan de Herrera 2001

Vazquez-Espi, M: A propósito del ‘desarrollo sostenible’ y el alojamiento,Ciudades para un Futuro más Sostenible, Instituto Juan de Herrera 2006

Webster Jessica,The Canadian Urban Archetypes Project: a tool facilitating the integration of energy-related information into urban planning decision making 43 ISOCARP Congress 2007

Wright J.A, Loosemore H.A., Farmani R., Optimization of building thermal design and control by multi-criterion genetic algorithm, *Energy and Buildings* 34 (9)(2002) pp. 959–972

Zhiliang M, Yili Z, Model of Next Generation Energy-Efficient Design Software for Buildings *Tsinghua science and technology* Volume 13, Number S1 (2008) pp298-304

Zmeureanu R., Fazio P., DePani S., Calla R., Development of an energy rating system for existing houses, *Energy and Buildings* 29 (2) (1999) pp. 107–119