

# Cuantificación energética de la construcción de edificios y el proceso de urbanización

Mikel Cepeda Gutiérrez. Arquitecto y paisajista  
Iker Mardaras Larrañaga. Arquitecto y paisajista

## Contenido

Introducción

Metodología

1. El consumo energético en los materiales de construcción.

Gráfica G1 Energía contenida en los materiales de construcción

Tabla T1 Energía contenida en los materiales de construcción

2. El consumo energético en la construcción de edificios.

Gráfica G2.1 Consumo energético por m<sup>2</sup> construido

Gráfica G2.2 Consumo energético por viviendas

Tabla T2 Resumen datos básicos de los edificios analizados

Tabla T3 Desglose por capítulos del gasto energético

3. Cuantificación del consumo energético de la construcción de la edificación y urbanización de 18.000 viviendas.

4. Conclusiones.

Anexos

Tabla TA1 Comparativa entre soluciones constructivas

Tabla TA2 Comparativa entre tipologías residenciales

## Introducción

El sector de la construcción, uno de los principales motores económicos de la sociedad actual, es también uno de los sectores con mayor consumo energético. Tomando como ejemplo el caso de la Comunidad Foral de Navarra solamente el sector residencial supone el 26,2 % del gasto energético<sup>1</sup> total. Dicho consumo se produce tanto en la fase previa a la construcción, correspondiente a todo el sector industrial que genera, como posteriormente, en su funcionamiento y mantenimiento.

Tras la crisis energética de la década de los setenta se comienza a estudiar el comportamiento energético de los edificios introduciendo conceptos como la energía, generada dentro del edificio, transmitida al exterior a través de sus paramentos. En esta época también se redacta la primera, aún vigente en la actualidad, normativa de obligado cumplimiento que regula la eficiencia energética de los edificios: NBE Condiciones Térmicas en la Edificación CT 79. Actualmente se está trabajando desde diferentes frentes en la búsqueda de una mayor eficiencia energética en la edificación: la investigación y desarrollo industrial de los materiales, líneas de investigación sobre el comportamiento energético de los edificios, introducción de normativas para la utilización de energías renovables, programas de concienciación ciudadana para el ahorro.

Por otra parte, el creciente consumo energético que se está produciendo en estas dos últimas décadas en todos los países occidentales, teniendo como consecuencia el agotamiento de los recursos naturales, así como las emisiones a la atmósfera y el impacto que supone para el medio ambiente, justifica el estudio de la construcción de la ciudad en términos de cuantificación energética. En el caso de la Comunidad Foral de Navarra, análoga al resto de las Comunidades Autónomas, en estos últimos veinte años se ha duplicado el consumo de la energía, siendo, en la actualidad, su tasa de crecimiento anual del 5,84 %<sup>2</sup>.

El presente artículo es síntesis del estudio "El Balance Energético en la Construcción de Edificios y su Aplicación en el Fenómeno Urbano"<sup>3</sup> que analiza en términos energéticos el proceso constructivo y urbanizador de la ciudad, cuantificando la cantidad de energía que se consume en la construcción de viviendas y en la urbanización del suelo.

1. Fuente: Plan de Ahorro y Uso Eficiente de la Energía en Navarra. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Navarra. Programa de Medidas Sociales y Educativas para el Ahorro y la Eficiencia Energética en Navarra. Documento de Bases. Centro de Recursos Ambientales de Navarra. Abril 2003, pag. 8

2. Fuente: Plan de Ahorro y Uso Eficiente de la Energía en Navarra. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Navarra. Programa de Medidas Sociales y Educativas para el Ahorro y la Eficiencia Energética en Navarra. Documento de Bases. Centro de Recursos Ambientales de Navarra. Abril 2003, pag. 8

3. Los datos aquí publicados se recogen en la Memoria de Investigación del trabajo "El Balance Energético en la Construcción de Edificios y su Aplicación al Fenómeno Urbano", realizado bajo la supervisión de Daniel Rodés Navarro (Doctor en Biología y en Medioambiente. Profesor de Ecología Urbana y Medioambiente en la Universidad de Navarra) y Eduardo Rojo Fraile (Doctor Arquitecto. Director del Departamento de Urbanismo en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Navarra).

Así mismo, mostrar nuestro agradecimiento a todos aquellos que contribuyeron a la consecución de este estudio, así como a la Agencia Energética Municipal de Pamplona y al Centro de Recursos Ambientales del Gobierno de Navarra, por el interés mostrado en el mismo.

4. Fuente: Fernando García Mozos. Panorama energético de la construcción de edificios en el estado español. Informe del IDAE ( Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía). Foro de la energía, mesa de la construcción organizado por el C.R.A. ( Centro de Recursos Ambientales) Noviembre 2003. Avance de resultados de los Censos de Población y Viviendas 2001. Instituto Nacional de la Estadística

5. " The estimation of energy consumption and CO2 emission due to housing construction in Japan." Michiya Suzuki, Tatsuo Oka, Kiyoshi Okada. *Energy and Buildings* 22 (1995) pág. 165 – 169

" Estimation of life cycle energy consumption and CO2 emission of office buildings in Japan." Michiya Suzuki, Tatsuo Oka, *Energy and Buildings* 28 (1998) pág. 33 – 41

" Informe MIES. Una aproximació a l'impacte ambiental de l'Escola d'arquitectura del Vallès." Albert Cuchi, Isaac López Caballero. Universitat Politècnica de Catalunya. 1999

"Energy Cost of Houses and Light construction Buildings" Center for Building Performance Research. Universidad de Wellington. Nueva Zelanda. 1983 – 1998

6. " Guía de la edificación sostenible " Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía IDAE, 1999

Se ha analizado el consumo energético tanto en la construcción de edificios como en el proceso de urbanización necesario para la consecución del hecho urbano. La investigación realizada se plantea con el objeto de realizar un estudio comparativo entre el gasto energético que se realiza en la construcción de diversas tipologías edificatorias de carácter residencial. Así mismo se analiza la diferencia de gasto energético que implica el planeamiento de ciudades de carácter compacto frente a otras que pudieran denominarse como fenómenos de urbanización dispersa.

Para ello se ha cuantificado el gasto energético que se produce en la construcción de viviendas y en la urbanización del suelo mediante la ejecución de las partidas de obra civil. Se han obtenido conclusiones a todos los niveles descritos anteriormente, desde el consumo energético de los materiales y los sistemas constructivos hasta el análisis de las tipologías edificatorias y su implantación en el territorio.

Se parte en definitiva de la necesidad detectada de aportar unos valores contrastados del consumo energético que supone el proceso constructivo. La mayoría de los estudios realizados hasta ahora se encaminan eminentemente hacia el ahorro energético durante el uso de los edificios. Se ha creído, por lo tanto, necesario poder cuantificar el gasto energético que supone la etapa inicial del ciclo vital de los materiales. De este modo se podrá valorar la importancia de la misma, acentuada por la importancia intrínseca de esta fase ya que afecta al diseño, pudiendo suscitar el interés en las administraciones sensibilizadas frente al uso eficiente de los recursos naturales.

Del mismo modo aporta un criterio más que permite a los profesionales del sector decidir la conveniencia de un diseño constructivo u otro frente a las ventajas que pueda aportar una solución constructiva u otra en términos de eficiencia energética en el funcionamiento del mismo. Así mismo tiene como aplicación directa, dentro de los muchos campos, la incorporación de este concepto dentro del estudio de impacto ambiental que supone la implantación y construcción de un modelo urbano.

En resumen, la introducción del concepto de la cuantificación energética en el planeamiento urbano y en la construcción de edificios se justifica desde el hecho de que se trata de una magnitud mensurable y objetiva.

## Metodología

La cuantificación energética se ha centrado en la construcción de edificios residenciales, con el objetivo de extraer las claves del consumo energético en aquel sector de la edificación que mayor repercusión tiene. Según el IDAE, dato referido al año 2000, el porcentaje de edificios de viviendas sobre el parque actual es el 92%<sup>4</sup>.

A la hora de elaborar una metodología que permitiera el desarrollo del estudio se ha buscado intencionadamente que se reflejase lo más fielmente posible la realidad constructiva actual. Tras un rastreo en publicaciones y estudios anteriores<sup>5</sup> dentro de la línea de investigación presentada, se ha optado por encontrar desde el inicio una metodología sistemática de análisis de tecnologías constructivas y tipologías de viviendas teóricas partiendo desde casos reales.

Tras elaborar una base de datos referente al gasto energético en la manufacturación y distribución de los materiales de construcción<sup>6</sup>, se ha cuantificado el consumo energético de la construcción de edificios residenciales sobre una serie de edificios construidos en los últimos diez años. Posteriormente los edificios analizados se han clasificado en tres tipologías: unifamiliar aislada, unifamiliar adosada y vivienda colectiva en bloque.

La cuantificación del gasto energético total en la construcción de un edificio se realiza sobre las mediciones reales contenidas en el presupuesto de ejecución material del mismo, habiendo sido cedidos estos por los estudios de arquitectura redactores de los mismos. Posteriormente se procede al estudio del gasto energético parcial por capítulos así como a la clasificación por tipologías de los edificios analizados. Del mismo modo se elabora la cuantificación del gasto energético que supone la puesta en obra de diferentes soluciones constructivas de fachada, muros, cubiertas y cerramientos.

Así mismo se procede a la redacción de las conclusiones referentes tanto al gasto energético en los materiales de construcción como a la construcción de edificios.

Concluyendo se ha desarrollado una metodología para la cuantificación energética de la construcción de edificios. Su futuro desarrollo incidirá en el análisis del gasto energético que supone la aplicación de diferentes tecnologías constructivas así como de otros casos reales de proyectos de edificación, con el objeto de extraer nuevas conclusiones que corroboren o maten las ya enunciadas en la presente investigación.

## 1. Consumo energético de los materiales de construcción

De entre diversas fuentes consultadas se tomaron como válidos los valores publicados en el libro " Guía de la edificación sostenible " por el IDAE. Estos datos se encuentran recogidos en la tabla T1.

A continuación realizaremos algunas consideraciones en cuanto al coste energético de los materiales de construcción.

Los materiales cuya fabricación y puesta en obra supone un mayor consumo energético por unidad de masa son los metálicos que necesitan grandes aportes de energía en su manufacturación. Existe una gran diferencia entre el acero y el aluminio cuando mayoritariamente este último es el más utilizado en el capítulo de carpinterías metálicas.

Acero	35 MJ / kg
Cobre	90 MJ / kg
Aluminio	215 MJ / kg

Los materiales que se utilizan en la impermeabilización y en el aislamiento del edificio también son elementos de gran consumo energético. No obstante su uso en la construcción de viviendas es proporcionalmente menor frente a los denominados materiales tradicionales en cuanto a peso total en la edificación se refiere.

Poliestireno expandido	120 MJ / kg
Poliestireno extrudido	100 MJ / kg
Poliuretano	70 MJ / kg
Tela asfáltica	10 MJ / kg

La fibra de vidrio puede plantearse como una alternativa a los aislantes arriba descritos.

Fibra de vidrio	30 MJ / kg
-----------------	------------

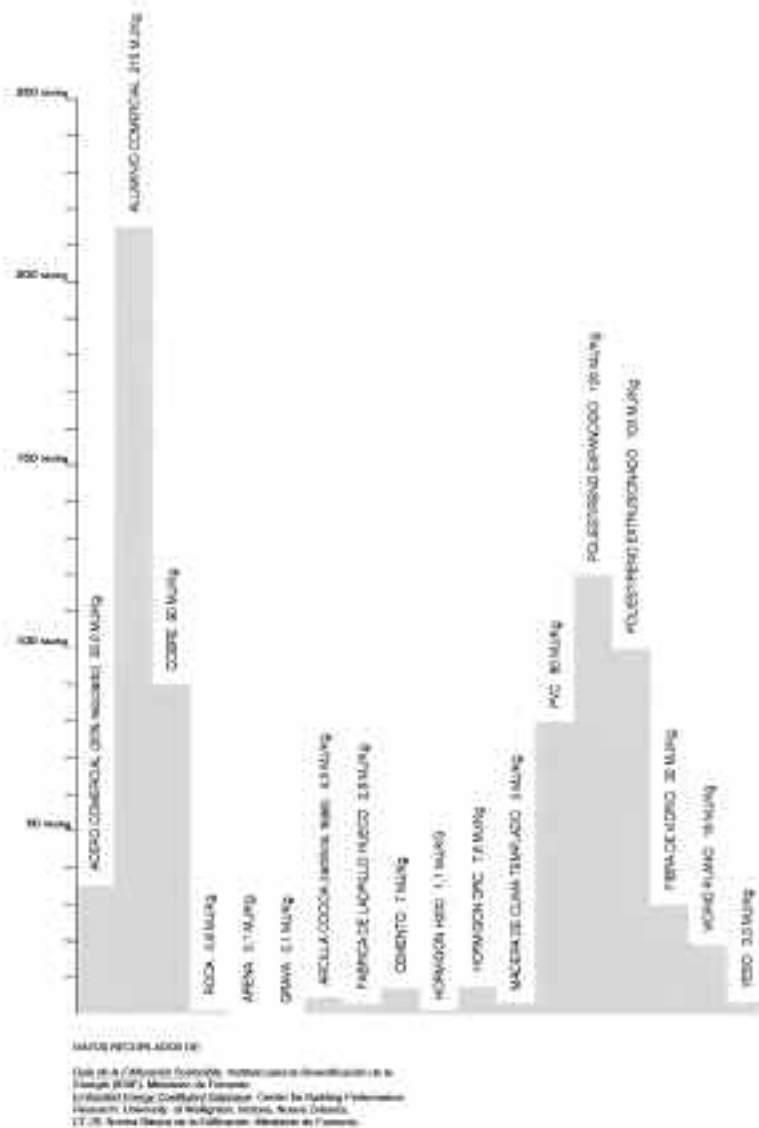
El resto de materiales que se usa en la construcción, y que se denominan como materiales tradicionales, son los que menor consumo energético presentan por unidad de masa. No obstante su uso masivo supone una proporción considerable con respecto al gasto energético total.

<b>Conglomerantes</b>	
Hormigón	1,1 MJ / kg
Yeso	3,3 MJ / kg
Cemento	7,0 MJ / kg
<b>Revestimientos</b>	
Madera	3,0 MJ / kg
Ladrillo	2,9 MJ / kg
Aplacado de piedra	0,8 MJ / kg
<b>Aridos</b>	
Arena	0,1 MJ / kg
Grava	0,1 MJ / kg

Se puede apreciar el bajo coste energético de los materiales naturales, arenas, gravas, piedra y madera, frente a materiales de elaboración industrial como el hormigón o el cemento.

Los valores más significativos se muestran en la gráfica G1.

<b>TABLA T1</b>	<b>ENERGÍA CONTENIDA EN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b>		
Procedencia datos básicos Guía de la edificación sostenible Idae, Ministerio de Fomento, 1995 Tabla de elaboración propia			
Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> ) <b>(Kg/m<sup>2</sup>)</b>	Energía primaria (MJ/Kg)	Energía primaria (MJ/m <sup>3</sup> ) <b>(MJ/m<sup>2</sup>)</b>
Acero 100 % reciclado (teórico)	7850	17	133450
Acero comercial (20 % reciclado)	7850	35	274750
Aluminio 100 % reciclado (teórico)	2700	23	62100
Aluminio comercial (30 % reciclado)	2700	215	580500
Aluminio primario	2700	160	432000
Arcilla cocida, ladrillos y tejas	<b>40</b>	4,5	<b>180</b>
Arcilla cocida, materiales cerámicos vitrificados	1800	10	18000
Arcilla cocida. Sanitarios	1900	27,5	52250
Arena	1500	0,1	150
Asfalto, en tela	1300	10	13000
Cemento	1200	7	8400
Cobre comercial	8900	90	801000
Cobre primario	8900	90	801000
Fabrica de ladrillo hueco	1000	2,96	2960
Fábrica de ladrillo macizo	1800	2,85	5130
Fábrica de ladrillo perforado	1400	2,86	4004
Fibra de vidrio	30	30	900
Fibrocemento ( de fibras sintéticas ode madera)	2000	9	18000
Fibrocemento (de amianto)	1700	6	10200
Grava	1700	0,1	170
Hormigón H-150 (2)	2500	0,99	2475
Hormigón H- 200	2500	1,1	2750
Hormigón H-175	2500	1,03	2575
Madera de clima templado	800	3	2400
Madera tropical	700	3	2100
Madera, tablero aglomerado con formaldehidos	700	14	9800
Madera, tablero aglomerado sin formaldehidos	700	14	9800
Madera, tablero contraplacadocontrachapado	<b>15</b>	5	<b>75</b>
Mortero M- 40/ a (1)	<b>40</b>	1	<b>40</b>
Mortero M- 80/a	<b>40</b>	1,34	<b>53,6</b>
P.V.C. Primario	2100	80	168000
P.V.C: reciclado (más del 70 %)	2100		
Pintura plástica	<b>0,07</b>	20	<b>1,4</b>
Pintura plástica	<b>0,07</b>	20	<b>1,4</b>
Pintura y barnices sintéticos	<b>0,065</b>	100	<b>6,5</b>
Policloropreno (neopreno)	<b>4,8</b>		
Poliestireno expandido (EPS)	20	120	2400
Poliestireno extrudido (XPS) con agente hinchante tipo CO2	40	100	4000
Poliestireno extrudido (XPS) con agente hinchante tipo HCFC	40	100	4000
Polipropileno	<b>4,8</b>	80	<b>384</b>
Polietileno reciclado (más del 70 %)	<b>4,8</b>	77	<b>369,6</b>
Poliuretano (PUR) con agente hinchante tipo CO2	<b>4,8</b>		
Poliuretano (PUR) con agente hinchante tipo HCFC	<b>4,8</b>	70	<b>336</b>
Vidrio plano	2600	19	49400
Yeso	1250	3,3	4125



GRAFICA G1 Energía contenida en los materiales de construcción

## 2. Consumo energético en la construcción de edificios

Los resultados que se muestran derivan del análisis realizado sobre catorce proyectos de edificación. El conjunto de los edificios analizados estaba formado por viviendas de las tipologías unifamiliar, adosada y colectiva (entre 3 y 7 alturas sobre cota de rasante en el caso de la vivienda en bloque). Eran de reciente construcción, en todos los casos la fecha de finalización de la construcción era posterior a 1997. Estaban localizados mayoritariamente en Navarra exceptuando tres casos, dos de ellos ubicados en Cantabria y el otro en La Rioja. ( ver tabla T2 )

Destaca la homogeneidad en los sistemas constructivos y los materiales empleados en los edificios. Las estructuras de todos los edificios estudiados habían sido resueltas mediante hormigón armado. El material de mayor uso en las carpinterías exteriores había sido el aluminio con mucha diferencia respecto a la madera y el PVC. Las particiones interiores se realizan casi totalmente mediante tabiques de ladrillo siendo aún la utilización sistemas prefabricados de paneles de yeso muy minoritario en el sector de la vivienda. La mayor heterogeneidad de materiales se percibió los cerramientos exteriores, se habían empleado el ladrillo caravista, aplacados de piedra, revocos con acabado monocapa y paneles prefabricados de hormigón.

El consumo energético de la construcción de los edificios se ha obtenido a partir de la medición de todos los materiales utilizados en la construcción de los mismos, de la cuantificación del tiempo de uso de la maquinaria para la manipulación y transporte de los materiales en obra así como de la mano de obra. No se ha cuantificado energéticamente el costo de mecanismos (ascensores, bombas,...) e instalaciones electrónicas. Por consi-

guiente se estima que la medición energética de los edificios se realizó en un 85% aproximadamente. Esto ha repercutido en el capítulo de instalaciones, en el que sólo se han calculado el coste de conductos y cables de las instalaciones sanitarias y eléctricas. A pesar de ello, la medición se considera válida ya que en la actualidad tanto las viviendas colectivas como las individuales disponen de instalaciones similares.

Analizando por capítulos el empleo de la energía para la construcción de los edificios ( ver tabla T3 ) se aprecia que la estructura es el que mayor repercusión tiene energéticamente en la vivienda, seguido de la albañilería y del capítulo de las carpinterías. No se aprecian variaciones grandes de incidencia en las distintas tipologías manteniéndose esta clasificación en las tres. En las viviendas adosadas y unifamiliares se acentúa la importancia de la estructura de cimentación en los casos de que la vivienda disponga de sótano. En ese caso la incidencia de dicho capítulo puede ascender hasta el 60%.

Estos son los valores medios de dichos capítulos de todos los edificios analizados:

Proporción del gasto energético por capítulos de presupuesto	
Estructura	43,25%
Albañilería	23,75%
Carpintería	11,10%

El orden que muestra la anterior tabla se mantiene en cada una de las tipologías aunque los porcentajes varíen de una a otra.

Cuantificadas energéticamente la construcción de todas las viviendas se expone, mediante el empleo de dos gráficas, las características de cada tipología de edificación y la comparación de la energía en su construcción.

Gráfica 2.1. Energía / Superficie construida

En esta gráfica se ha comparado por tipologías la energía que supone la construcción por metro cuadrado de edificación. Se aprecia que mediante la construcción de viviendas colectivas el consumo energía para la construcción del edificio es un 52% menor que si construimos adosadas o unifamiliares.

Los valores medios por tipologías de las viviendas analizadas son los siguientes:

Gasto energético / superficie construida		
Colectivas	2.944 MJ / m <sup>2</sup>	0,07 Tep / m <sup>2</sup>
Adosada	5.311 MJ / m <sup>2</sup>	0,12 Tep / m <sup>2</sup>
Unifamiliar	5.873 MJ / m <sup>2</sup>	0,14 Tep / m <sup>2</sup>

En el estudio realizado se constató que en viviendas unifamiliares la repercusión correspondiente al sótano aumenta mucho el gasto energético ( la necesidad de utilización de hormigón armado para la ejecución de muros de sótano supone un gasto energético considerable en el coste global de los edificios unifamiliares ).

Gráfica 2.2. Energía / vivienda

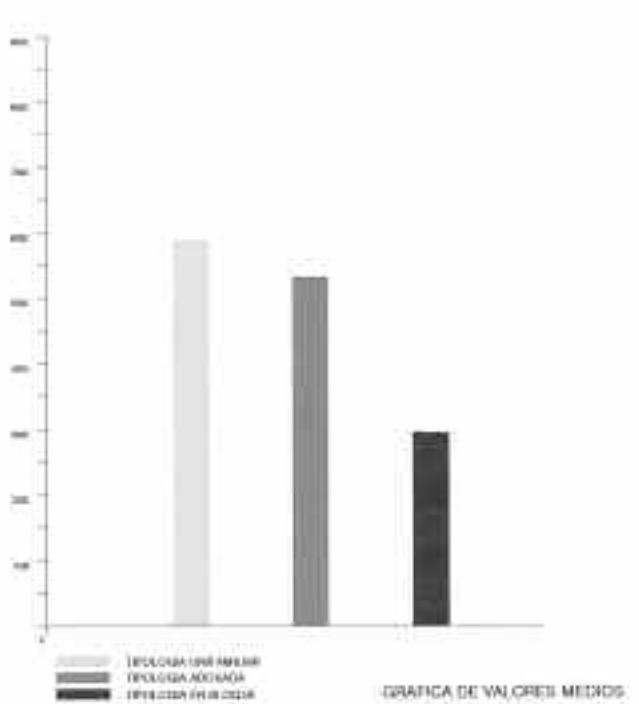
En esta gráfica se parte del hecho constatado de que generalmente la superficie de vivienda es mayor en las viviendas adosadas y unifamiliares en comparación con las viviendas colectivas. Las áreas medias construidas por vivienda de los edificios analizados en esta investigación en cada tipología son las siguientes; vivienda colectiva: 153,01 m<sup>2</sup>, vivienda adosada: 246,02 m<sup>2</sup> y vivienda unifamiliar: 246,75 m<sup>2</sup> (el dato de las viviendas en bloque incluye las superficies de zonas comunes, garajes comunitarios y bajos comerciales) ( ver tabla T2).

Los valores medios de dichos capítulos de todos los edificios analizados son los siguientes:

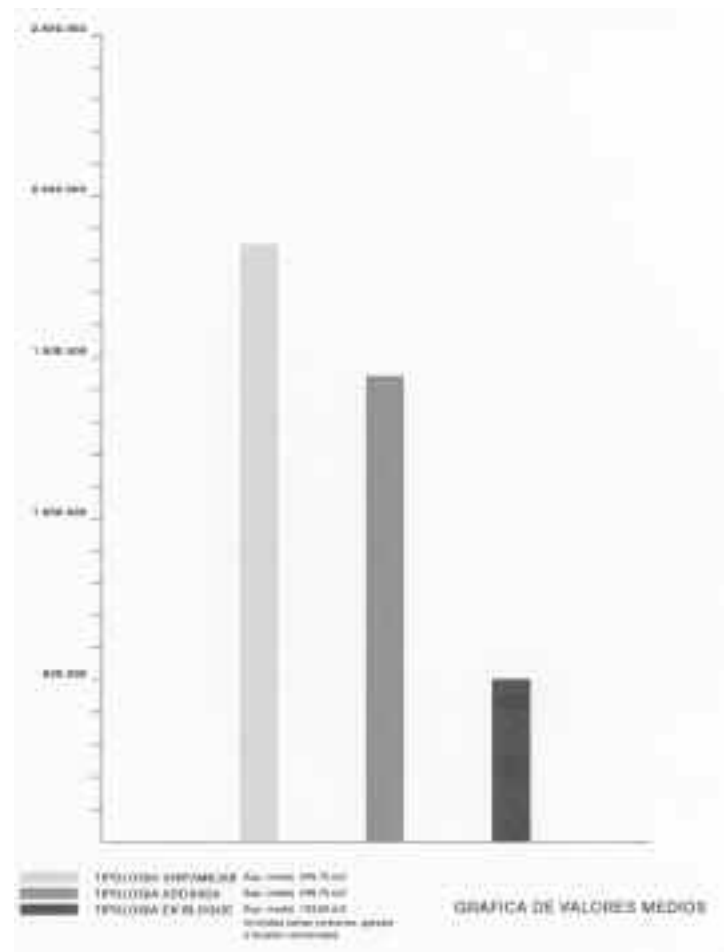
Gasto energético / vivienda		
Bloque	502.140 MJ / vivienda	11,99 Tep / vivienda
Adosada	1.441.260 MJ / vivienda	34,42 Tep / vivienda
Unifamiliar	1.848.720 MJ / vivienda	44,15 Tep / vivienda

Con la energía empleada para la construcción de una vivienda adosada casi se pueden llegar a construir tres viviendas colectivas, mientras que con la energía consumida en la construcción de una vivienda unifamiliar se podrían construir casi cuatro viviendas colectivas.

En algunos de los ejemplos analizados se comprobó que una de las viviendas unifamiliares era menos costosa energéticamente que una de la tipología de viviendas colectivas. Esta irregularidad se debe a que por un lado en un bloque de viviendas suele haber una o dos plantas de sótanos para garajes colectivos tanto para automóviles de la vecindad como para coches de usuarios ajenos a las viviendas, y por otro lado en planta baja se disponen bajos comerciales. En edificaciones colectivas de pocas plantas, por lo tanto, la incidencia que tiene el gasto energético para la construcción de estos usos generales por vivienda es muy grande pero no se debe de olvidar que se tratan de edificios que albergan más de una función si los comparamos con viviendas unifamiliares.



GRAFICA G2.1 ENERGIA / SUPERFICIE CONSTRUIDA ( MJ / m² )



GRAFICA G2.2 ENERGIA / VIVIENDA ( MJ )

7. Fuente: Parámetros de sostenibilidad.  
Albert Cuchi i Burgos, Daniel Casteló i Cortina, Gloria Díez i Bernabé, Albert Sagrera i Cusco.  
Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.  
2003, pag. 35

Se ha realizado un estudio comparativo entre el valor del gasto energético de la construcción de una vivienda frente a la energía de consumo en el uso de dicha edificación. Esta equiparación refleja el valor relativo de la magnitud de la energía utilizada para la construcción frente a otros consumos energéticos asociados al uso y mantenimiento de la vivienda. El consumo medio en España de una vivienda en su uso durante el periodo de un año es aproximadamente de 42.648,81 MJ siendo calificado como viable un gasto anual de 24114,60 MJ<sup>7</sup>.

El consumo energético en la construcción de las tipologías arriba definidas en función de los datos aportados anteriormente ( colectiva 2.944 MJ/ m<sup>2</sup> , superficie 140 m<sup>2</sup>; adosada 5.311 MJ/ m<sup>2</sup> , superficie 250 m<sup>2</sup> y unifamiliar 5.873 MJ/ m<sup>2</sup>, superficie 300 m<sup>2</sup> ), supone que el gasto energético en la construcción de una vivienda tipo sea de 412.160 MJ / vivienda en la tipología colectiva, 1.327.750 MJ / vivienda en la adosada y 1.761.900 MJ / vivienda en la unifamiliar. Comparando estos datos con el gasto en funcionamiento y mantenimiento calculado anteriormente resulta que para una vivienda colectiva el gasto energético en la construcción supone el gasto energético a lo largo de entre 9,66 y 17,09 años. En el caso de la vivienda adosada entre 31,13 y 55,06 años y en el caso de la vivienda unifamiliar entre 41,31 y 73,06 años.

Estos datos dan una idea de la relevancia del gasto energético en la construcción de la edificación frente al gasto energético total a lo largo del ciclo de vida completo de los materiales puestos en obra en la construcción de la misma.

Por último, en la tabla anexa TA1 se recoge el estudio teórico realizado sobre diversas soluciones constructivas de muros, cubiertas, ventanas y fachadas así como de particiones interiores.

Merece especial atención la comparativa realizada entre diferentes tecnologías constructivas aplicadas a soluciones de fachada. Las tecnologías constructivas analizadas han sido cuatro y en su diseño se ha intentado que el K resultante sea similar. De esta manera las diferencias básicamente radican en el espesor del cerramiento, en su carácter más o menos pesado y más o menos industrializado y en el gasto energético necesario para la construcción de un m<sup>2</sup> de fachada. (En este aspecto destacamos las dos últimas soluciones, fachada ligera con revestimiento de madera y fachada de panel prefabricado de hormigón. El gasto energético de las mismas es entre la mitad y un tercio de las dos primeras de carácter más tradicional y pesado).

Del mismo modo resulta destacable la comparación del gasto energético relativo a la resolución de huecos frente al gasto energético relativo a las fachadas. En este caso se podría afirmar que una ventana con carpintería de aluminio (2440 MJ/m<sup>2</sup>) es más costosa energéticamente que cualquiera de las fachadas estudiadas. En el caso de la ventana con carpintería de acero (1244 MJ/m<sup>2</sup>) el gasto energético de su construcción es similar a la fachada más costosa (1112 MJ/m<sup>2</sup>) mientras que la ventana de carpintería de madera (344 MJ/m<sup>2</sup>) tiene un coste energético similar a la fachada con menor coste energético estudiada (340 MJ/m<sup>2</sup>).

TABLA T2 RESUMEN DATOS BÁSICOS DE LOS EDIFICIOS ANALIZADOS

Proyecto	Altura	Superficie construida (m2)	Superficie ocupada (m2)	Número de viviendas	Superficie parcela (m2)	Energía (MJ)	Energía (Tep)	Energía (MJ) / Superficie construida (m2)	Energía (Tep) / Superficie construida (m2)	Energía (MJ) / Vivienda	Energía (Tep) / Vivienda
40 viviendas libres en Larrabide, Pamplona, Navarra	S + B + 5	8497,00	1590,00	40	2968,00	26213588	626,10	3085,04	0,074	655340	15,65
84 viviendas libres en San Jorge, Pamplona, Navarra	S + B + 5 + A	13356,16	1728,00	84	5316,00	29066535	694,24	2176,26	0,052	346030	8,26
46 viviendas VPO en Berriozar, Navarra	S + B + 4 + A	7468,00	1410,00	46	3580,00	22433575	535,82	3003,96	0,072	487686	11,65
72 viviendas libres en Camargo, Santander	S + B + 7 + A	7855,45	691,19	72	3600,00	23974133	572,61	3051,91	0,073	332974	7,95
94 viviendas libres en Camargo, Santander	S + B + 7 + A	12313,30	1129,30	94	3360,00	29438728	703,13	2390,81	0,057	313178	7,48
110 viviendas VPO en Rochapea, Pamplona	2S + B + 7	17406,00	2368,00	110	5525,00	54248558	1295,70	3116,66	0,074	493169	11,78
18 viviendas libres en Tudela, Navarra	B + 3	4103,00	721,00	18	2046,00	16789423	401,01	4091,99	0,098	932746	22,28
14 viviendas bifamiliares libres en Alemanes, Pamplona, Navarra	S + B + 2	4310,32	812,00	28	3203,90	20279653	484,37	4704,91	0,112	724273	17,30
8 viviendas adosadas libres en Cascante, Navarra	B + 1	2050,80	699,52	8	2445,44	12352446	295,03	6023,23	0,144	1544056	36,88
12 viviendas adosadas libres en Tudela, Navarra	B + 1	3067,00	1735,75	12	3238,60	15974151	381,54	5208,40	0,124	1331179	31,79
1 vivienda unifamiliar en Pamplona, Navarra	S + B	160,00	83,00	1	400,00	832393	19,88	5202,46	0,124	832393	19,88
1 vivienda unifamiliar en Haro, La Rioja	B	144,00	144,00	1	372,00	1120221	26,76	7779,31	0,186	1120221	26,76
1 vivienda unifamiliar en Pamplona, Navarra	S + B	250,00	138,00	1	592,00	1310991	31,31	5243,96	0,125	1310991	31,31
1 vivienda unifamiliar en Muruzabal, Navarra	S + B + 1	433,15	144,00	1	432,00	2.282.556	54,52	5269,67	0,126	2282556	54,52

TABLA T3 DESGLOSE DEL GASTO ENERGÉTICO POR CAPÍTULO DE LOS PRESUPUESTOS ANALIZADOS

	Capítulo	Gasto energético (MJ)	Incidencia (%)	Capítulo	Gasto energético (MJ)	Incidencia (%)	Conceptos analizados	
<b>40 viviendas libres en Larrabide, Pamplona, Navarra</b>	CIMENTACIONES, ESTRUCTURA Y SAN.	12486856,00	47,64	ACTIV. CLASIFICADAS	19455,00	0,07	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B + 5	ALBAÑILERIA	7830361,00	29,87	FONTANERIA	478742,00	1,83	Mano de obra	NO
	VIDRIO	67773,00	0,26	CALEFACCION	-----	-----	Maquinaria	NO
	CARPINTERIA INTERIOR	711762,00	2,72	ELECTRICIDAD	-----	-----	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CARPINTERIA EXTERIOR	4264341,00	16,27	PINTURA	146068,00	0,56		
CERRAMIENTO: Ladrillo	REVESTIMIENTOS Y ACABADOS	208230,00	0,79	URBANIZACION	-----	-----		
CARPINTERIA: Aluminio				GASTO ENERGÉTICO TOTAL	26213588,00	100,00		
<b>84 viviendas libres en San Jorge, Pamplona, Navarra</b>	CIMENTACIONES, ESTRUCTURA Y SAN.	12030272,00	41,39	ACTIV. CLASIFICADAS	289503,00	1,00	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B + 5 + A	ALBAÑILERIA	13288836,00	45,72	FONTANERIA	236832,00	0,81	Mano de obra	NO
	VIDRIO	249844,00	0,86	CALEFACCION	-----	-----	Maquinaria	NO
	CARPINTERIA INTERIOR	1355399,00	4,66	ELECTRICIDAD	-----	-----	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CARPINTERIA EXTERIOR	1251581,00	4,31	PINTURA	171671,00	0,59		
CERRAMIENTO: Ladrillo	REVESTIMIENTOS Y ACABADOS	192597,00	0,66	URBANIZACION	-----	-----		
CARPINTERIA: Aluminio				GASTO ENERGÉTICO TOTAL	29066535,00	100,00		
<b>46 viviendas VPO en Berriozar, Navarra</b>	CIMENTACIONES, ESTRUCTURA Y SAN.	5164295,00	22,85	REVESTIMIENTOS Y ACABADOS	5247474,00	23,22	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B + 4 + A	ALBAÑILERIA	6406732,00	28,34	FONTANERIA	778738,00	3,45	Mano de obra	NO
	PAVIMENTOS Y ALICATADOS	297181,00	1,31	CALEFACCION	113622,00	0,50	Maquinaria	NO
	CARPINTERIA INTERIOR	27181,00	0,12	ELECTRICIDAD	563325,00	2,49	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CARPINTERIA EXTERIOR Y VIDRIO	2171649,00	9,61	PINTURA	74833,00	0,33		
CERRAMIENTO: Ladrillo	CERRAJERIA	938807,00	4,15	URBANIZACION	494064,00	2,19		
CARPINTERIA: Aluminio	AISLANTES E IMPERMEABILIZANTES	324869,00	1,44	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	22602770,00	100,00		
<b>72 viviendas libres en Camargo, Santander</b>	MOVIMIENTO DE TIERRAS	21885,00	0,09	VIDIRO Y PINTURA	51582,00	0,22	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B + 7 + A	CIMENTACIONES, ESTRUCTURA Y SAN.	11164452,00	46,57	FONTANERIA	613675,00	2,56	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	8213751,00	34,26	CALEFACCION	27369,00	0,11	Maquinaria	SI
	PAVIMENTOS Y ALICATADOS	458395,00	1,91	ELECTRICIDAD	110604,00	0,46	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CARPINTERIA INTERIOR	198975,00	0,83	URBANIZACION	404667,00	1,69		
CERRAMIENTO: Hormigón Prefabricado	CARPINTERIA EXTERIOR	2504735,00	10,45					
CARPINTERIA: Aluminio	HERRERIA	204043,00	0,85	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	23974133,00	100,00		
<b>94 viviendas libres en Camargo, Santander</b>	MOVIMIENTO DE TIERRAS	115067,00	0,39	VIDRIO	187867,00	0,64	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B + 7 + A	CIMENTACIONES, ESTRUCTURA Y SAN.	12416994,00	42,18	PINTURA	172276,00	0,59	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	10432790,00	35,44	URBANIZACION	953345,00	3,24	Maquinaria	SI
	PAVIMENTOS Y ALICATADOS	1241067,00	4,22				Instalaciones	NO
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CARPINTERIA INTERIOR	110516,00	0,38					
CERRAMIENTO: Hormigón Prefabricado	CARPINTERIA EXTERIOR	3039536,00	10,32					
CARPINTERIA: Aluminio	CERRAJERIA	769270,00	2,61	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	29438728,00	100,00		
<b>110 viviendas vpo en Rochapea</b>	MOVIMIENTO DE TIERRAS	551311,00	1,02	HERRERIA	627718,00	1,16	Materiales de construcción	SI
Altura: 2S + B + 7	CIMENTACIONES Y ESTRUCTURA	26078661,00	48,07	PINTURA	674486,00	1,24	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	13337060,00	24,59	FONTANERIA	-----	-----	Maquinaria	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CUBIERTA	-----	-----	SANEAMIENTOS	-----	-----	Instalaciones	NO
CERRAMIENTO: Ladrillo	REVESTIMIENTOS	2542396,00	4,69	URBANIZACION	-----	-----		
CARPINTERIA: Aluminio	CARPINTERIA	10436926,00	19,24	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	54248558,00	100,00		
<b>18 viviendas libres en Tudela, Navarra</b>	MOVIMIENTO DE TIERRAS	25144,00	0,15	HERRERIA	123220,00	0,74	Materiales de construcción	SI
Altura: B + 3	CIMENTACIONES Y ESTRUCTURA	6699729,00	40,50	PINTURA	125114,00	0,76	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	7529796,00	45,52	FONTANERIA	-----	-----	Maquinaria	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CUBIERTA	788293,00	4,77	SANEAMIENTOS	-----	-----	Instalaciones	NO
CERRAMIENTO: Ladrillo	REVESTIMIENTOS	445732,00	2,69					
CARPINTERIA: Aluminio	CARPINTERIA	1052405,00	6,36	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	16541099,00	100,00		

TABLA T3 DESGLOSE DEL GASTO ENERGÉTICO POR CAPÍTULOS DE LOS PRESUPUESTOS ANALIZADOS

	Capítulo	Gasto energético (MJ)	Incidencia (%)	Capítulo	Gasto energético (MJ)	Incidencia (%)	Conceptos analizados	
14 viviendas bifamiliares libres en Alemales, Pamplona, Navarra	MOVIMIENTO DE TIERRAS	-----	-----	VIDIRO Y PINTURA	990969,14	4,89	Materiales de construcción	SI
Altura: S+ B+ 2	CIMENTACION Y SANEAMIENTO	420258,44	2,07	FONTANERIA	-----	-----	Mano de obra	SI
	ESTRUCTURA	12586210,42	62,06	CALEFACCION	-----	-----	Maquinaria	SI
	CUBIERTA	-----	-----	ELECTRICIDAD	-----	-----	Instalaciones	NO
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	ALBAÑILERIA	3911591,04	19,29	URBANIZACION	-----	-----		
CERRAMIENTO: Ladrillo	PAVIMENTOS Y ALICATADOS	1322544,30	6,52					
CARPINTERIA: Aluminio	CARPINTERIA INTERIOR/ EXTERIOR	1048079,90	5,17	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	20279653,24	100,00		
8 viviendas adosadas libres en Cascante, Navarra	MOVIMIENTO DE TIERRAS	132162,00	1,07	VIDRIO	229449,00	1,86	Materiales de construcción	SI
Altura: B+ 1	CIMENTACIONES Y SANEAMIENTO	2356956,00	19,08	PINTURA	266590,00	2,16	Mano de obra	SI
	ESTRUCTURA	3830215,00	31,01	VARIOS	209088,00	1,69	Maquinaria	SI
	CUBIERTA	740216,00	5,99	URBANIZACION	953345,00	7,72	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	ALBAÑILERIA	3475699,00	28,14					
CERRAMIENTO: Ladrillo	PAVIMENTOS Y ALICATADOS	155030,00	1,26					
CARPINTERIA: Aluminio	CARPINTERIA INTERIOR	3696,00	0,03	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	12352446,00	100,00		
12 viviendas adosadas libres en Tudela, Navarra	MOVIMIENTO DE TIERRAS	650275,00	4,07	PINTURA	173699,00	1,09	Materiales de construcción	SI
Altura: B+ 1	CIMENTACIONES, ESTRUCTURA Y SAN.	3210975,00	20,10	FONTANERIA	88302,00	0,55	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	5925524,00	37,09	SANEAMIENTOS	483052,00	3,02	Maquinaria	SI
	CUBIERTA	1045261,00	6,54	ELECTRICIDAD	507560,00	3,18	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	REVESTIMIENTOS	1045261,00	6,54	URBANIZACION	601347,00	3,76		
CERRAMIENTO: Ladrillo	CARPINTERIA	2242895,00	14,04					
CARPINTERIA: Aluminio	HERRERIA	-----	-----	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	15974151,00	100,00		
1 vivienda unifamiliar en Pamplona, Navarra	MOVIMIENTO DE TIERRAS	2441,26	0,31	PINTURA	12229,00	1,54	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B	CIMENTACIONES Y ESTRUCTURA	282777,29	35,51	FONTANERIA	46675,80	5,86	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	16364,65	2,05	SANEAMIENTOS	14243,00	1,79	Maquinaria	SI
	CUBIERTA	135500,00	17,01	ELECTRICIDAD	29720,00	3,73	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	REVESTIMIENTOS	68300,00	8,58	URBANIZACION	95433,00	11,98		
CERRAMIENTO: Ladrillo	CARPINTERIA	91011,00	11,43					
CARPINTERIA: Aluminio	HERRERIA	1705,00	0,21	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	796400,00	100,00		
1 vivienda unifamiliar en Haro, La Rioja	MOVIMIENTO DE TIERRAS	10842,00	0,97	PINTURA	5263,00	0,47	Materiales de construcción	SI
Altura: B	CIMENTACIONES Y ESTRUCTURA	615094,00	54,91	FONTANERIA	46672,00	4,17	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	42217,00	3,77	SANEAMIENTOS	3643,00	0,33	Maquinaria	SI
	CUBIERTA	279070,00	24,91	ELECTRICIDAD	44996,00	4,02	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	REVESTIMIENTOS	26623,00	2,38	VARIOS	1072,00	0,10		
CERRAMIENTO: Ladrillo	CARPINTERIA	32971,00	2,94	CALEFACCION	4771,00	0,43		
CARPINTERIA: Aluminio	HERRERIA	6987,00	0,62	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	1120221,00	100,00		
1 vivienda unifamiliar en Pamplona, Navarra	MOVIMIENTO DE TIERRAS	63845,00	4,87	PINTURA	45508,00	3,47	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B	CIMENTACIONES Y ESTRUCTURA	603881,00	46,06	FONTANERIA	57993,00	4,42	Mano de obra	SI
	ALBAÑILERIA	84982,00	6,48	SANEAMIENTOS	35916,00	2,74	Maquinaria	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	CUBIERTA	94188,00	7,18	ELECTRICIDAD	-----	-----	Instalaciones	SI
CERRAMIENTO: Ladrillo	REVESTIMIENTOS	163335,00	12,46	VARIOS	64776,00	4,94		
CARPINTERIA: Aluminio	CARPINTERIA	75674,00	5,77	CALEFACCION	20893,00	1,59		
				GASTO ENERGÉTICO TOTAL	1310991,00	100,00		
1 vivienda unifamiliar en Muruzabal, Navarra	MOVIMIENTO DE TIERRAS	74328,00	3,26	PINTURA	30357,81	1,33	Materiales de construcción	SI
Altura: S + B + 1	CIMENTACIONES Y ESTRUCTURA	739265,88	32,39	FONTANERIA	107324,00	4,70	Mano de obra	NO
	ALBAÑILERIA	708504,28	31,04	SANEAMIENTOS	119435,00	5,23	Maquinaria	NO
	CUBIERTA	112435,00	4,93	URBANIZACION	181044,53	7,93	Instalaciones	SI
ESTRUCTURA: Hormigón Armado	REVESTIMIENTOS	128781,76	5,64					
CERRAMIENTO: Ladrillo	CARPINTERIA	73641,74	3,23					
CARPINTERIA: Aluminio	HERRERIA	7438,00	0,33	GASTO ENERGÉTICO TOTAL	2282556,00	100,00		

### 3 Cuantificación del consumo energético de la construcción de la edificación y urbanización de 18.000 viviendas

En una segunda fase del estudio se han definido hasta 18 modelos de sección tipo de ciudad que generan una ocupación de suelo y densidades distintas. Posteriormente se ha comparado el consumo energético de la construcción de un crecimiento residencial teórico de 18.000 viviendas, crecimiento que podría tener una ciudad tipo como Pamplona durante la vigencia de su plan municipal.

Como se muestra en la tabla anexa TA2 se han definido tres tipologías de vivienda con las siguientes superficies (300 m<sup>2</sup> para la vivienda unifamiliar, 250 m<sup>2</sup> para la vivienda adosada y 140 m<sup>2</sup> para la vivienda colectiva) y se les ha asignado unas superficies (jardín privado o verde zona mancomunado, acera, superficie rodada, plaza) correspondientes al tipo de sección teórica que suelen generar cumpliendo las condiciones mínimas de salubridad y los estándares urbanísticos. De este modo, variando el número de plantas de la construcción, generando siempre crujiás habitables y posibles, se han catalogado hasta 18 tipos. En este artículo se recogen seis tipos, los correspondientes a las viviendas más y menos densas de cada tipología estudiadas (tipos 1 y 4; 5 y 10; 11 y 18).

Densidad del tipo	
Tipo 1 (aislada)	11,49 viv/ha
Tipo 4 (aislada)	12,32 viv/ha
Tipo 5 (adosada)	24,14 viv/ha
Tipo 10 (adosada)	27,29 viv/ha
Tipo 11 (bloque)	57,01 viv/ha
Tipo 18 (bloque)	142,52 viv/ha

Asignando a cada tipo el gasto energético unitario por m<sup>2</sup> construido y el gasto asociado a la ejecución de las partidas de obra civil estudiadas (zona ajardinada 30,27 MJ / m<sup>2</sup>, pavimentación de plaza – acera 824,71 MJ / m<sup>2</sup>, pavimentación de calzada 1054,52 MJ / m<sup>2</sup>) se ha obtenido el gasto energético total que supone tanto la construcción como la parte proporcional de urbanización de una vivienda. De esta manera se puede afirmar que con la energía empleada en edificar una vivienda unifamiliar aislada en una altura con una superficie de 300 m<sup>2</sup> edificados y una parcela de 600 m<sup>2</sup> (300 m<sup>2</sup> de jardín), se pueden construir cuatro viviendas en bloque colectivo con una superficie construida de 140 m<sup>2</sup>, una crujiá de 12 metros de fondo de edificación y 35 m<sup>2</sup> de jardín mancomunado por vivienda.

Gasto energético por vivienda		
Tipo 1 (aislada)	2.511.371 MJ / vivienda	59,98 Tep / vivienda
Tipo 4 (aislada)	2.227.328 MJ / vivienda	53,19 Tep / vivienda
Tipo 5 (adosada)	1.694.578 MJ / vivienda	40,47 Tep / vivienda
Tipo 10 (adosada)	1.508.601 MJ / vivienda	36,03 Tep / vivienda
Tipo 11 (bloque)	540.313 MJ / vivienda	12,90 Tep / vivienda
Tipo 18 (bloque)	455.286 MJ / vivienda	10,87 Tep / vivienda

Posteriormente se ha recogido el consumo energético de la construcción de un asentamiento para 18.000 viviendas a partir de las secciones tipo teóricas analizadas.

Aplicando a los tipos anteriormente expuestos los datos obtenidos en los anteriores apartados con respecto al gasto energético en la construcción de edificios y el gasto energético en el proceso de urbanización se obtienen los siguientes resultados:

Gasto energético general		
Tipo 1 (aislada)	45,20 X 109 MJ	1079,58 Ktep
Tipo 4 (aislada)	40,09 X 109 MJ	957,53 Ktep
Tipo 5 (adosada)	30,50 X 109 MJ	728,47 Ktep
Tipo 10 (adosada)	27,15 X 109 MJ	648,46 Ktep
Tipo 11 (bloque)	9,35 X 109 MJ	223,32 Ktep
Tipo 18 (bloque)	8,19 X 109 MJ	195,61 Ktep

Si se compara los datos de la anterior tabla con el consumo energético total de Navarra, 1607,67 Ktep<sup>8</sup> correspondiente al año 2000, el gasto energético para la construcción de estas urbanizaciones teóricas suponen entre un 12,2 % del tipo 18 y el 67,2% del tipo 1 de dicho consumo.

El consumo energético total es cinco veces mayor entre el tipo 18 (colectiva 2S+X) y el tipo 1 (unifamiliar adosada altura I). Es decir, con la energía empleada en construir y urbanizar una vivienda en el tipo 1 se construyen y urbanizan 4 viviendas del tipo 11 (colectiva s+III) y 5 viviendas en el tipo 18 (2S+X).

8. Fuente: Plan de Ahorro y Uso Eficiente de la Energía en Navarra. Departamento de Medio Ambiente. Gobierno de Navarra. Programa de Medidas Sociales y Educativas para el Ahorro y la Eficiencia Energética en Navarra. Documento de Bases. Centro de Recursos Ambientales de Navarra. Abril 2003, pag. 8

## Conclusiones

### 1. Gasto de energía. Cuantificación y aspectos generales

Teniendo en cuenta los datos presentados en el artículo se advierte que la energía de consumo para la construcción de edificios y urbanización supone en sí misma y en comparación con la energía de consumo para su funcionamiento posterior de estas instalaciones una cantidad a tener en cuenta para estrategias de ahorro energético y eficiencia energética en el sector de la construcción y planeamiento urbano.

A pesar de ello no se debe perder la perspectiva, el consumo de energía de construcción es un factor de análisis más dentro del análisis del ciclo de vida de los materiales y los edificios, que debe estar englobado dentro de un estudio de impacto medioambiental que reúna factores como idoneidad de los materiales, capacidad de reciclaje o reutilización, adecuación a las características intrínsecas del lugar, disponibilidad de materiales autóctonos, etc.

El factor fundamental diferenciador en el gasto energético en la construcción de viviendas es la tipología edificatoria. El gasto medio en la construcción de viviendas unifamiliares es entre tres y cuatro veces mayor que el gasto medio en viviendas colectivas en bloque. Este dato se obtiene suponiendo a la vivienda unifamiliar una superficie (300 m<sup>2</sup>) del orden del doble que la superficie de la vivienda colectiva (140 m<sup>2</sup>), ya que se asume que este aumento en la superficie construida es intrínseco al cambio de tipología. La energía consumida por metro cuadrado construido es dos veces mayor en la tipología unifamiliar y unifamiliar adosada que en la vivienda colectiva.

### 2. Consumo de energía en la construcción de edificios

La heterogeneidad de posibilidades y circunstancias dentro de la construcción hace que se plantee este apartado con cautela. De este modo, salvo en circunstancias excepcionales, se afirma que una planificación y diseño del proyecto de edificación previendo su derribo y desmantelamiento, con el objetivo de reaprovechar la energía que ha sido utilizada en la manufacturación de los materiales mediante el reciclaje y la reutilización futura puede ser una medida que en un futuro suponga un gran ahorro energético ya que alarga el ciclo de vida de los materiales.

Por capítulos se ha constatado que la estructura es el apartado que mayor consumo energético presenta (un 41,31 % en vivienda colectiva) y que esta importancia se acentúa en viviendas unifamiliares (44,58 %, ver T3). Si bien no se ha tenido la posibilidad de hacer una comparación energética entre una estructura de acero y una de hormigón en las mismas circunstancias, se advierte que en viviendas unifamiliares y adosadas se pudiera plantear la resolución de la estructura madera que supone un ahorro energético considerable. Este supuesto se corrobora en el estudio japonés realizado a cargo de Michiya Suzuki, Tatsuo Oka y Kiyoshi Okada <sup>9</sup> en el que en viviendas unifamiliares realizadas con estructura de madera este capítulo supone solamente entre un 16% y un 20% de la energía consumida en la construcción.

En cuanto a la resolución de fachadas el empleo de soluciones tradicionales supone un gasto energético considerable frente a otras soluciones con un carácter más ligero o industrializado, como se aprecia en la tabla anexa TA1. Respecto al empleo de aislantes la fibra de vidrio en comparación con los demás materiales aislantes supone una solución más eficiente en cuanto ahorro energético.

Así mismo el excesivo acristalamiento de los edificios significa un mayor gasto energético en un doble sentido, por un lado empeora el Kg del edificio con lo que el gasto de energía en mantenimiento del confort térmico aumenta y por otro lado, como se ha indicado anteriormente, el gasto energético en la construcción de huecos es entre dos y cinco veces mayor que el de una fachada opaca. La excepción la encontramos en las carpinterías de madera, en cuya fabricación y acristalamiento se emplea menos energía (344 MJ/m<sup>2</sup>) que en la construcción de cualquiera de las fachadas estudiadas (entre 505 MJ/m<sup>2</sup> y 1250 MJ/m<sup>2</sup>).

Por otro lado el planteamiento de ciertas viviendas bioclimáticas construidas con materiales cuya manufacturación suponga un elevado consumo de energía (como el aluminio) deberán ser objeto de revisión. De esta manera no solo se tendrá en cuenta el funcionamiento de la vivienda como condición de eficiencia energética sino también la energía utilizada en su construcción.

La reducción del consumo energético en la construcción de los edificios dependerá, en un primer momento del diseño constructivo de los mismos. Se recomiendan cerramientos de soluciones integradas de prefabricados de hoja exterior + aislante + hoja interior, materiales naturales y aislantes naturales como la fibra de vidrio.

### 3. Gasto de energía en el proceso de urbanización

Se ha comprobado que en el proceso de construcción y urbanización de la ciudad el consumo energético correspondiente a la construcción de los edificios es mucho mayor que el que corresponde a las obras de urbanización.

La relación entre el gasto energético por construcción y el gasto energético por urbanización es:

	Construcción	Urbanización
Tipo 1 (aislada)	70,62 %	29,28 %
Tipo 4 (aislada)	79,63 %	20,17 %
Tipo 5 (adosada)	78,94 %	21,06 %
Tipo 10 (adosada)	86,29 %	13,71 %
Tipo 11 (bloque)	78,36 %	21,64 %
Tipo 18 (bloque)	90,20 %	9,80 %

Se constata que cuanto más denso es el tipo estudiado mayor repercusión tiene el gasto energético correspondiente a la construcción. Se observa que dentro de las tipologías unifamiliares y adosadas a mayor densidad el gasto energético.

El mayor gasto energético se da en la ocupación del territorio (entre un 10% en la ciudad difusa y un 3.5 % en la ciudad compacta, del porcentaje total de gasto energético) lo cual implica que el menor gasto energético en la urbanización estará relacionado directamente con la menor ocupación de territorio por la misma.

Dentro de las superficies urbanizadas, el mayor gasto energético se da en la construcción de aceras y superficies rodadas, (entre un 7% y un 23%), mientras que el menor consumo se da en las zonas verdes, siempre menor del 1%, suponiendo que los sistemas de riego no son fijos. Se recomienda el uso de materiales naturales drenantes como gravas y arenas a la hora de realizar pavimentaciones.

#### 4. Distribución general del gasto energético.

Mediante el análisis teórico realizado por el estudio de ciudades tipo se concluye que la ordenación territorial y urbana que deriva en el planeamiento urbano supone un punto de partida diferenciador en cuanto a consumo energético en la construcción de la ciudad se refiere.

Según los datos obtenidos la diferencia en el gasto energético de construcción y urbanización de una vivienda unifamiliar y una colectiva es de 2.056.745 MJ ( 49,12 Tep ). Aplicado este dato a las 18000 viviendas del crecimiento estudiado se obtiene un gasto energético de  $37,021 \times 10^{19}$  MJ ( 884,21 Ktep ) , lo cual supone el 55% del gasto energético anual que se produjo en la Comunidad Foral de Navarra ( referido al dato de 2000, 1607,67 Ktep ).

Por lo tanto se cree necesaria la introducción de conceptos de eficiencia energética dentro del planeamiento urbano ya que como ha quedado demostrado, la determinación de un modelo u otro de ciudad (con las implicaciones tipológicas que lleva asociadas) supone una diferencia considerable en cuanto a gasto energético en la construcción y urbanización se refiere. Del mismo modo y una vez tenidos en cuenta los valores macro-energéticos globales expuestos (ver apartado 3) con respecto al modelo de ciudad, se puede incidir a su vez en el ahorro energético en el propio proceso constructivo ya que el gasto correspondiente a la edificación supone entre un 70% y un 90% del gasto energético total frente al gasto energético en la urbanización que supone entre el 10% y el 30% restantes.

Por último se observa que los gastos energéticos derivados de la ocupación del territorio y el capítulo de la estructura en la edificación de nueva planta supone con respecto al total del gasto energético en construcción y urbanización entre un 46% y un 53% del total. Por ello se recomienda la rehabilitación y reutilización de edificios y estructuras preexistentes. Se estima que de este modo se podría ahorrar hasta un 50% del gasto actual en el proceso de edificación y urbanización de la ciudad.

O.E.A.

Oficina para la Eficiencia en Arquitectura

mikel\_cepada@hotmail.com

ikermardaras@yahoo.com

<sup>9</sup> " The estimation of energy consumption and CO2 emission due to housing construction in Japan." Michiya Suzuki, Tatsuo Oka, Kiyoshi Okada. Energy and Buildings 22 (1995) pág. 167 y 168

TABLA TA1 Comparativa entre soluciones constructivas

Sistema constructivo	Coefficiente de transmisión de cerramientos K Kcal / h m <sup>2</sup> °C	Energía
<b>MUROS</b>		
<b>1. Muro de hormigón con zapata corrida.30cm</b> 30 cm hormigón HA-25 + armadura 120 kg/m <sup>3</sup>	2,41	5560 MJ/ml
<b>2. Muro de gavión. 100 cm roca. 20% volumen proporcional de huecos</b> + mallazo de acero. d: 5 mm / e: 100 mm)	1,42	1984 MJ/ml
<b>ESTRUCTURAS</b>		
<b>1. Pilar de hormigón armado 30 x 30 cm.</b> HA 25 + 4 o 25 mm + estribos o 12 mm cada 15 cm)	-	973 MJ/ml
<b>2. Pilar de acero. HEB 100</b>	-	714 MJ/ml
<b>PARAMENTOS EXTERIORES (fachadas)</b>		
<b>1. Fachada tradicional de ladrillo caravista</b> media asta ladrillo perforado + 5,0 cm cámara de aire + 5,5 cm poliestireno expandido + tabique de ladrillo hueco doble + 1,5 cm mortero y enlucido de cemento + pintura plástica	0,402	944 MJ/m <sup>2</sup>
<b>2. Fachada transventilada de aplacado de piedra</b> 4,0 cm aplacado de piedra + subestructura de acero de sujeción + 6,0 cm poliestireno expandido + tabique de ladrillo hueco doble + 1,5 cm mortero y enlucido de cemento + pintura plástica	0,401	1112 MJ/m <sup>2</sup>
<b>3. Fachada ligera con revestimiento de madera</b> 3,0 cm contrachapado de madera + enrastrelado de madera + 8,0 cm cámara de aire + 5,5 cm poliestireno expandido + rastrelado de madera + 1,0 cm tablero de madera + 1,5 cm mortero y enlucido de cemento + pintura plástica	0,402	340 MJ/m <sup>2</sup>
<b>4. Panel prefabricado de hormigón</b> 10,0 cm panel prefabricado de hormigón + 7,0 cm poliestireno expandido + 1,0 cm tablero de madera + 1,5 cm mortero y enlucido de cemento + pintura plástica	0,395	494 MJ/m <sup>2</sup>
<b>CUBIERTAS</b>		
<b>1. Cubierta invertida plana</b> 30,0 cm forjado de viguetas de hormigón con bovedilla + 7,0 cm mortero formación de pendientes + tela asfáltica + 6,0 cm poliestireno extrudido + malla geotextil + 5,0 cm grava	0,37	1120 MJ/m <sup>2</sup>
<b>2. Cubierta inclinada de teja</b> 30,0 cm forjado de viguetas de hormigón con bovedilla + rastrelado de madera + 6,0 cm poliestireno extrudido + cubrición de teja	0,36	623 MJ/m <sup>2</sup>
<b>PARTICIONES INTERIORES (tabiques)</b>		
<b>1. Tabique de ladrillo hueco doble</b> 1,5 cm mortero de cemento + pintura plástica + tabique de ladrillo hueco doble + 1,5 cm mortero de cemento	1,66	212 MJ/m <sup>2</sup>
<b>2. Tabique de placas de yeso</b> 1,3 cm panel de yeso + subestructura de acero + 1,3 cm panel de yeso	1,78	599 MJ/m <sup>2</sup>
<b>CARPINTERÍAS Y VENTANAS</b>		
<b>1. Ventana con carpintería de aluminio</b> carpintería de aluminio + doble vidrio 6+4+6 mm	3,40	2440 MJ/m <sup>2</sup>
<b>2. Ventana con carpintería de acero</b> carpintería de acero + doble vidrio 6+4+6 mm	3,40	1244 MJ/m <sup>2</sup>
<b>3. Ventana con carpintería de madera</b> carpintería de madera + doble vidrio 6+4+6 mm	2,80	344 MJ/m <sup>2</sup>

TABLA TA2 Comparativa entre tipologías residenciales

