

ESTUDIOS

Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios

004

www.idae.es





Estudios IDAE 004: Impacto de la Energía Solar Térmica en la Calificación Energética de Edificios
Madrid, noviembre 2017

Autores: Almudena Puche Puche, Jessica Bonmati Fernández , Andrés Paredes Salvador

Coordinación y revisión: Andrés Paredes Salvador, Carlos Montoya Rasero

Director de Energías Renovables: Alfonso Olivas La Llana

El presente estudio ha sido promovido y realizado por IDAE

Edita: IDAE

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

Índice de contenidos

1	Resumen ejecutivo	7
1.1	Introducción	7
1.2	Metodología	7
1.3	Resultados	8
1.4	Conclusiones.....	10
2	Planteamiento	11
2.1	Contexto	11
2.2	Potencial en la edificación	14
2.3	Objeto del estudio.....	14
2.4	Legislación	15
3	Análisis tecnológico	17
3.1	Configuraciones de instalaciones solares	17
3.2	Tecnologías de captación solar	19
3.2.1	Captadores solares no vidriados	21
3.2.2	Captadores solares planos	21
3.2.3	Captadores solares tubo de vacío	22
3.2.4	Captadores solares de concentración	22
3.2.5	Captadores solares de aire	22
3.3	Aplicaciones	23
3.3.1	Calentamiento de agua mediante energía solar	23
3.3.2	Calefacción con energía solar.....	24
3.3.3	Refrigeración con energía solar.....	24
4	Metodología	27
4.1	Tipologías edificatorias y características constructivas	29
4.2	Zonas climáticas	30
4.2.1	Zonas Climáticas por Severidad climática	30
4.2.2	Zonas climáticas por radiación incidente	31
4.3	Instalaciones térmicas existentes o de referencia	33
4.4	Demandas a abastecer por energía solar.....	39
4.5	Descripción de las instalaciones solares térmicas a utilizar	40
4.6	Determinación de la calificación energética mediante CE3X.....	41

4.7	Determinación de la contribución solar para producción de ACS y climatización de piscina mediante CHEQ4	43
4.8	Determinación de la contribución solar para producción de ACS, calefacción y refrigeración mediante programa Transol.....	44
5	Simulación	45
5.1	Simulación mediante CE3X.....	45
5.1.1	Características de los cerramientos	46
5.1.2	Ventilación.....	48
5.1.3	Iluminación	49
5.1.4	Demanda de ACS	49
5.1.5	Demanda de piscinas.....	52
5.1.6	Contribuciones energéticas renovables	52
5.1.7	Simulación de instalaciones solares térmicas	57
5.2	Implementación de Instalaciones solares para ACS y climatización en CHEQ4.....	57
5.3	Implementación de Instalaciones solares para ACS, calefacción y refrigeración en Transol	62
5.3.1	Distribución de producción solar, rendimiento y fracción solar	68
6	Resultados	75
6.1	Consideraciones sobre la demanda de los edificios	75
6.2	Consideraciones sobre la calificación energética de los edificios.....	89
6.3	Impacto de incorporación de energía solar térmica para las aplicaciones de ACS y climatización de Piscina	108
6.3.1	Viviendas unifamiliares	111
6.3.2	Viviendas plurifamiliares 4 y 8 plantas.....	112
6.3.3	Oficinas de 4 y 8 plantas.....	113
6.3.4	Hospitales	114
6.3.5	Polideportivos	115
6.3.6	Hoteles	116
6.3.7	Centros comerciales	116
6.4	Impacto de incorporación de energía solar térmica para las aplicaciones de ACS, climatización de Piscina, calefacción y refrigeración	121
6.4.1	Viviendas unifamiliares	127
6.4.2	Viviendas plurifamiliares 4 y 8 plantas.....	128
6.4.3	Oficinas de 4 y 8 plantas.....	133
6.4.4	Hospitales	136
6.4.5	Polideportivos	138
6.4.6	Hoteles	140

6.4.7 Centros comerciales	142
6.4.8 Análisis de la reducción de emisiones en todas las tipologías edificatorias	144
Anexos	147
Anexo 1: Consumo de energía primaria no renovable, Demanda y Fracción solar promedio	147
Anexo 2: Costes de inversión de las instalaciones solares	152

1 Resumen ejecutivo

1.1 Introducción

La incorporación de instalaciones de energía solar térmica en la edificación, para abastecer sus diferentes demandas térmicas, supone siempre la mejora de la eficiencia energética de los edificios. El aprovechamiento de la energía solar térmica implica que parte de la demanda del edificio de ACS, calefacción, refrigeración, y piscina en su caso, se va a abastecer con una energía renovable que supone un consumo nulo de energía primaria y que disminuirá sus emisiones de CO₂.

El mayor o menor impacto que la incorporación de energía solar térmica pueda tener sobre la calificación energética de un edificio variará, no solo en función del grado de cobertura solar alcanzada sobre cada una de sus demandas y del tipo de combustible sustituido, sino también en función de la tipología edificatoria considerada, su localización y sus características constructivas.

El objeto de este estudio es valorar, mediante la realización de una serie de simulaciones, la importancia que la incorporación de la energía solar térmica tiene sobre la calificación energética de los edificios. El estudio analiza y compara, de forma orientativa y cualitativa cómo afecta sobre la calificación energética una determinada contribución solar sobre las diferentes demandas térmicas, en una serie de casos que representan diferentes tipos de edificios, localizaciones y periodos constructivos.

Los resultados obtenidos en este estudio son teóricos y están basados en un conjunto de hipótesis consideradas a la hora de seleccionar los parámetros que definen los edificios y sus instalaciones para las simulaciones llevadas a cabo. Los resultados, por tanto, están condicionados por las mencionadas hipótesis iniciales y los motores de cálculo de los programas utilizados. No deben ser considerados como excluyentes ni extrapolables a todos los edificios correspondientes a cada tipología edificatoria, localización o periodo constructivo analizado.

Cada caso real a analizar requerirá de un análisis específico y detallado que determine el verdadero impacto de la incorporación de energía solar térmica sobre sus demandas y calificación energética, ya que cada edificio presenta un comportamiento energético particular que solo puede ser analizado de forma individual.

1.2 Metodología

El estudio tiene por objeto analizar de forma diferenciada el efecto que la energía solar térmica tiene, por un lado, cuando ésta abastece solo la demanda de ACS, y piscina en su caso, y por otro lado, el efecto que su incorporación tiene cuando se abastecen las demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración del edificio.

Para la realización del estudio se han seleccionado nueve tipologías edificatorias diferentes correspondientes a viviendas unifamiliares, viviendas plurifamiliares de 4 y 8 plantas (con 4 viviendas

por planta), oficinas de 4 y 8 plantas, hospitales, polideportivos, hoteles y centro comerciales. Se han considerado cuatro localizaciones que representan cuatro zonas climáticas distintas: Burgos, Madrid y Sevilla para todas las tipologías edificatorias y una localización adicional, Las Palmas, para el caso de los hoteles. Además se han considerado cuatro periodos temporales, que corresponden a la aplicación de normativas constructivas diferentes. La combinación de este conjunto de variables ha dado lugar a **112 casos de estudio**.

En cuanto a la contribución solar térmica sobre la demanda de ACS se refiere, el análisis se ha efectuado solo en aquellos periodos constructivos anteriores a la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (CTE). En los edificios afectados por dicha normativa, la calificación energética obtenida ya ha tenido en cuenta la existencia de una instalación solar térmica según establece la sección HE4 del CTE. Esta consideración reduce el **número de casos a analizar a 56**, donde la contribución solar a alcanzar ha sido la establecida en la sección HE4 en función de la demanda de ACS del edificio y de la zona climática donde se encuentra ubicado.

1.3 Resultados

La siguiente tabla muestra de forma resumida el impacto que la incorporación de energía solar térmica tiene sobre la eficiencia energética de los edificios, cuando ésta cubre solamente la demanda de ACS y cuando cubre todas las demandas térmicas del edificio. Los indicadores mostrados son: la fracción solar total obtenida, el porcentaje de reducción de emisiones de CO₂ y el número de casos en los que se consigue mejorar al menos una letra la calificación energética del edificio. Los valores mostrados para cada tipología edificatoria son valores promedio que agregan los resultados de todas las localizaciones y de los periodos constructivos considerados.

	Incorporación Solar para ACS y piscina			Incorporación Solar para ACS, piscina, calefacción y refrigeración		
	Fracción solar ACS (*)	Reducción emisiones	Nº de casos con mejora de calificación (Cambio de letra)	Fracción solar total	Mejora emisiones	Nº de casos con mejora de calificación (Cambio de letra)
Unifamiliar	65%	16%	2	41%	38%	9
Plurifamiliar 4	51%	10%	0	27%	22%	4
Plurifamiliar 8	50%	6%	1	19%	16%	4
Oficina 4	56%	4%	2	12%	8%	5
Oficina 8	53%	3%	0	7%	5%	2
Hospital	67%	31%	6	22%	24%	8
Polideportivo	60%	29%	5	40%	18%	6
Hotel	67%	13%	7	24%	10%	9
Centro comercial	53%	0%	0	3%	2%	0
Promedio/Total	52%	12%	23	22%	16%	47

(*) La fracción solar objetivo a alcanzar para cubrir la demanda de ACS, y piscina en su caso, en los edificios existentes es la establecida en la sección HE4 del CTE correspondiente a la revisión de 2013. Las fracciones solares que se muestran en la tabla son los valores obtenidos al realizar la simulación en el programa de validación CHEQ4.

Impacto de la energía solar térmica sobre demanda de ACS y piscina

La mejora de la eficiencia energética obtenida al abastecer parte de la demanda de ACS de los edificios con energía solar térmica **supone un cambio de letra en la calificación energética en 23 de los 56 casos analizados**, es decir, en un **42 %** de los casos. En 5 casos la calificación **mejora dos letras**, todos ellos correspondientes a hospitales.

En todos los casos correspondientes a hospitales, hoteles y polideportivos se consigue un cambio de letra, excepto en el caso de los hoteles ubicados en Burgos y de los polideportivos de Madrid construidos entre 1981 y 2006.

Las fracciones solares obtenidas oscilan entre el 31 % y el 78 %, con un promedio de un 52 %, para todas las tipologías edificatorias. Las mayores fracciones solares se obtienen en hospitales, hoteles, viviendas unifamiliares y polideportivos donde se alcanzan **coberturas de la demanda de ACS superiores al 60 %**. En el resto de tipologías edificatorias la fracción solar total se sitúa en torno a un 50 %.

Los edificios donde las emisiones de CO₂ se ven reducidas en mayor medida son los **hospitales y los polideportivos**, donde se alcanzan reducciones promedio de alrededor del **30 %**. El caso en el que **mayor reducción de emisiones** se consigue son los **polideportivos en Sevilla afectados por la normativa constructiva entre 1981 y 2006, donde las emisiones se reducen en un 37 %** y la calificación energética pasa de una **letra C a una B**. Todos los casos analizados de hospitales y polideportivos presentan una disminución de emisiones superiores al 20 % independientemente de su localización y periodo constructivo.

Los edificios donde menos se ven disminuidas las emisiones son los centros comerciales, donde el efecto es inapreciable, y los edificios de oficinas, donde la reducción de emisiones no supera el 5 %, debido a la baja demanda de ACS.

La reducción de emisiones obtenida varía en un amplio orden de magnitud cuando se analiza cada tipología edificatoria de forma separada teniendo en cuenta su localización y año de construcción. En general, existe una tendencia a que la disminución de emisiones sea mayor en las localizaciones que representan zonas climáticas de mayor recurso solar, alcanzándose diferencias superiores al 10 % entre las localidades de Sevilla y Burgos en polideportivos, unifamiliares y hospitales. También, se aprecia que el impacto es mayor en los casos donde se han aplicado medidas de eficiencia energética más exigentes en la edificación.

Impacto de la energía solar térmica sobre demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración

En cuanto a la incorporación de energía solar térmica para abastecer las demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración del edificio, **la aportación solar supone que un 42 % de los casos analizados, 47 de los 112, su calificación energética mejora al menos una letra**. El cambio se produce principalmente en hospitales, hoteles, polideportivos y viviendas unifamiliares.

En nueve casos, correspondientes a hospitales, viviendas unifamiliares y hoteles, se mejoran dos letras y en dos casos correspondientes a hospitales mejoran tres letras. **En 10 casos se obtiene una calificación energética A.**

La mayor disminución de emisiones se produce en las viviendas unifamiliares donde la reducción promedio para todas las localizaciones y periodos constructivos es del 38 %, seguida por los hospitales y edificios plurifamiliares de 4 plantas, donde se alcanzan reducciones de emisiones superiores al 20 %.

El caso específico en el que mayor reducción de emisiones se obtiene es el correspondiente a las viviendas unifamiliares ubicadas en Sevilla construidas entre 1981 y 2006, donde la reducción de emisiones es del 58 % y se pasa de una calificación energética B a una A.

Los edificios en los que menor reducción de emisiones se logra son los centros comerciales y oficinas, donde la reducción de emisiones no supera el 10 %.

No existe en este caso una clara correlación en cuanto a la mejora de la calificación energética obtenida y el año de construcción o localización que se pueda hacer extensiva a todas las tipologías edificatorias. Mientras que las viviendas unifamiliares y plurifamiliares ven reducidas en mayor medida sus emisiones conforme aumenta el año de construcción y la zona climática dispone de mayor radiación solar y de severidades climáticas moderadas, la reducción de emisiones en edificios de oficinas y centros comerciales son insensibles a estas variaciones. Por otro lado, los hospitales, hoteles y polideportivos presentan menores reducciones de emisiones en los edificios construidos antes de 2006 y mejoran en las zonas climáticas menos favorecidas.

1.4 Conclusiones

Los resultados del estudio muestran que **la incorporación de energía solar térmica en la edificación para producción de ACS y climatización de piscina mejora la calificación energética** en un número sustancial de los casos analizados, especialmente en hospitales, hoteles y polideportivos, y también en las localizaciones de mayor disponibilidad de radiación solar.

En el caso de abastecimiento de las demandas de ACS, calefacción y refrigeración, aunque el impacto en cuanto a la mejora de la calificación energética dentro del número de casos analizados es similar al resultado obtenido en el caso de abastecimiento de la demanda de ACS y piscina, a diferencia de éste último, un número significativo de casos alcanza la calificación energética A.

Por tanto, este estudio pone de manifiesto que la incorporación de energía solar térmica, para abastecer cualquiera de los dos tipos de demandas consideradas, tiene en gran medida un efecto visible al mejorar la calificación energética de los edificios. En el caso de instalaciones solares que solo abastecen la demanda de ACS y piscina, su influencia en ella debería ser mayor en el futuro próximo cuando se apliquen medidas más exigentes que limiten la demanda de calefacción y refrigeración del edificio, puesto que previsiblemente la demanda de ACS permanecerá invariable en el tiempo incrementando su preponderancia respecto al resto de demandas térmicas.

2 Planteamiento

2.1 Contexto

El sector de la edificación en España, y en general en Europa, supone en la actualidad un importante consumo de energía procedente de energías fósiles y también una significativa fuente de emisiones de CO₂ ya que representan cerca del 40 % del consumo final de energía.

Desde la aprobación del Código Técnico de la Edificación (CTE) en el año 2006, el consumo de energía ligado a la edificación se ha visto limitado, en gran medida gracias a la aplicación de la sección HE de ahorro de energía de dicho código, que establece las condiciones que permiten limitar la demanda energética de los edificios, mejorar la eficiencia de sus instalaciones térmicas e incorporar energías renovables. Estas medidas aplicadas a la edificación, no solo contribuyen a cumplir los objetivos nacionales en cuanto a eficiencia energética y uso de energías renovables, sino que también suponen una importante disminución de la dependencia energética y un avance en la lucha contra el cambio climático.

Las instalaciones de energía solar térmica han incrementado paulatinamente su presencia en el parque edificatorio, desde la entrada en vigor de las primeras Ordenanzas Municipales solares que se aprobaron en el año 2000 hasta la actualidad. La entrada en vigor del CTE en 2006, a través de la sección HE4, establecía una contribución solar mínima para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), y para la demanda de calor necesaria para la climatización de piscinas cubiertas que afectaba a todo el territorio nacional, que hizo crecer el volumen de m² instalados a partir de su aplicación de manera exponencial.

La última modificación del CTE, realizada mediante la Orden Ministerial 1635/2013, transpone la Directiva 2010/31/UE relativa a los requisitos de eficiencia energética en los edificios, que establece el momento a partir del cual los nuevos edificios construidos deberán ser de consumo de energía casi nulo. La nueva exigencia de eficiencia energética, entre otras cosas, establece requisitos más exigentes en cuanto a la limitación de la demanda energética y al rendimiento de las instalaciones térmicas y añade una nueva sección HEO denominada “Limitación del consumo energético”, que limitará el consumo de energía primaria no renovable de los edificios. Esta nueva sección se sumaría a las exigencias de una determinada producción energética renovable incluidas en las secciones HE4 y HE5, que establecía una contribución solar mínima para Agua Caliente Sanitaria y una contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica. Estas dos exigencias establecen que la contribución solar puede sustituirse por otra energía renovable alternativa que suponga la misma disminución de emisiones y consumo de energía primaria.

La incorporación de energías renovables en la edificación es una realidad que las nuevas normas relativas a la edificación fomentarán en su camino hacia la consecución de los edificios de consumo de energía casi nulo, obligatorios a partir de 2020, y en 2018 para los edificios que sean propiedad y estén ocupados por autoridades públicas. La definición de edificio de consumo de energía casi nulo hasta la fecha es *«edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto donde la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía*

procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno".

El 2 de agosto de 2016, la Comisión Europea publicó las recomendaciones "*sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo*"¹. En estas recomendaciones, se refuerza el concepto de que en un edificio de consumo de energía casi nulo el uso de energía renovable y las medidas de eficiencia energética deben estar intrínsecamente unidas. Una vez instaladas en los edificios, las energías renovables reducirán la cantidad de energía suministrada a éste.

En muchos casos, si no se adoptan medidas de eficiencia energética complementarias o si no se propicia que las fuentes de energía renovables supongan una disminución significativa del consumo de energía primaria, no será posible que el consumo de energía alcance un nivel casi nulo. Por lo tanto, el establecimiento de requisitos mayores y más exigentes para poder llegar a disponer de unos edificios de consumo casi nulo altamente eficientes debe traer consigo necesariamente un mayor uso de las energías renovables *in situ*.

En estas mismas recomendaciones se proponen unos valores de demanda energética y un consumo de energía primaria no renovable para dos tipologías edificatorias, oficinas y viviendas unifamiliares, que dependerán de la zona climática y que nos permiten ver el orden de magnitud que la aportación de energías renovables debe suponer en el edificio de consumo de energía casi nulo.

En estas recomendaciones se refuerza el concepto de que, en un edificio de consumo de energía casi nulo, el uso de energía renovable y las medidas de eficiencia energética deben estar intrínsecamente unidos. Una vez instaladas en los edificios, las energías renovables reducirán la cantidad de energía suministrada a éste y las emisiones de CO₂.

Las recomendaciones proponen unos valores límite de demanda energética y de consumo de energía primaria no renovable para dos tipologías edificatorias, oficinas y viviendas unifamiliares, que dependerán de la zona climática y que nos permiten ver el orden de magnitud que la aportación de energías renovables podría llegar a suponer en los edificios de consumo de energía casi nulo.

¹ http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=DOUE-L-2016-81405

		Energía primaria neta (kWh/m ² .año)	Consumo Energía primaria (kWh/m ² .año)	Aportación renovable in situ (kWh/m ² .año)	Aportación renovables (%)*
Zona Mediterránea	Oficinas	20-30	80-90	60	66-75
	Vivienda unifamiliar nueva	0-15	50-65	50	77-100
Zona Oceánica	Oficinas	40-55	85-100	45	45-53
	Vivienda unifamiliar nueva	15-30	50-65	35	53-70
Zona Continental	Oficinas	40-55	85-100	45	45-53
	Vivienda unifamiliar nueva	20-40	50-70	30	42-60
Zona nórdica	Oficinas	55-70	85-100	30	30-35
	Vivienda unifamiliar nueva	40-65	65-90	25	27-38

(*) Calculado como resultado de dividir la aportación renovable in situ entre la Energía primaria total.

Tabla 1: Valores recomendados de consumo de energía primaria total y no renovable demanda energética establecidos en las recomendaciones “sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo.”

Las medidas en materia de eficiencia energética que se puedan establecer en el futuro en la edificación, tendrán un efecto importante en la disminución de las demandas de calefacción y refrigeración de un edificio, sin embargo, la demanda de ACS, que depende únicamente del consumo litros/día por ocupante correspondiente a cada tipo de edificio y a su ocupación, no se verá afectada por estas medidas.

La incorporación de energía solar térmica en la edificación, por lo tanto, tendrá un papel cada vez más importante a desempeñar en este nuevo escenario edificatorio. Su efecto se plasmará de manera determinante en la calificación energética del edificio mejorándola notablemente ya que es la única tecnología renovable cuya producción no tiene asociado ningún consumo de energía primaria ni emisiones de CO₂. Además, el uso de la energía solar térmica mejora la calidad del aire ambiente en las ciudades, asunto que está cobrando una importancia cada vez mayor.

La contribución de energía solar térmica en un edificio no tiene por qué ceñirse a lo establecido en la sección HE4 del CTE, limitándose a aportar energía para ACS y piscinas cubiertas, sino que podrá satisfacer también el resto de demandas térmicas como las de calefacción y refrigeración. No obstante, resulta difícil de cuantificar a priori el efecto que energéticamente tendrá esta incorporación sobre el edificio, ya que, dependiendo de que aplicación sea satisfecha por energía solar, del peso que cada demanda abastecida tenga sobre la demanda térmica total del edificio y del tipo de fuente de energía sustituida, el resultado será más o menos beneficioso.

2.2 Potencial en la edificación

La Energía Solar Térmica tiene un enorme potencial de aplicación en el sector de la edificación tanto en los edificios de nueva construcción como en edificios existentes. A pesar de que el sector de la nueva construcción no crece como en años anteriores, las oportunidades de incorporar energía solar térmica en aquellos edificios que se construyan en el futuro cercano, aumentan debido a la aplicación de la Directiva europea 2010/31/UE. En ella se establece que, como se ha visto anteriormente, los edificios de nueva construcción que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas deben de ser de consumo de energía casi nulo a partir del 31 de diciembre de 2018 y lo tendrán que ser todos los edificios nuevos construidos a partir del 31 de diciembre de 2020.

En el caso de la edificación existente, menos del 1% de las viviendas españolas tenían instalado algún dispositivo de captación solar de energía, según un comunicado de prensa del Instituto Nacional de Estadística, en 2008². Las oportunidades para aumentar la presencia de energía solar en estos edificios vendrán dadas por el desarrollo de una estrategia a largo plazo para movilizar inversiones en la renovación exhaustiva y rentable de edificios residenciales y comerciales, con el fin de mejorar el rendimiento del parque inmobiliario y reducir su consumo de energía establecida en la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. En este sentido, se han venido poniendo en marcha por parte del Ministerio de Industria Turismo y Comercio, Ministerio de Fomento y las CCAA, planes de ayudas destinados a la rehabilitación edificatoria que incluyen de manera específica medidas que permiten integrar energía solar térmica en los edificios existentes, además, las recientes ayudas procedentes de los fondos FEDER para el periodo 2014-2020 del Programa Operativo de Crecimiento Sostenible se sumarán al cumplimiento de este objetivo.

Por otro lado, las ciudades buscan, cada vez más, disponer de atmósferas más limpias carentes de humos y partículas en suspensión. Los ayuntamientos de las grandes ciudades han puesto en marcha planes de reducción de emisiones que afectan al tráfico y también a las instalaciones térmicas. La incorporación de energía solar térmica en la edificación es un instrumento eficaz que permite reducir las mencionadas emisiones de una forma muy importante.

2.3 Objeto del estudio

A la vista de lo expuesto anteriormente, es evidente que la energía solar térmica puede desempeñar un papel fundamental en la edificación no solo existente sino también futura.

La incorporación de energía solar en la edificación existente mejora la calificación energética de los edificios aumentando su valor energético en los procesos de venta o alquiler de éstos, ya que demandarán menos energía. En cuanto a los edificios de nueva construcción, su incorporación permitirá además alcanzar los requisitos establecidos en las nuevas exigencias constructivas que limitan el consumo de energía primaria no renovable. En ambos casos, su incorporación supondrá la disminución de emisiones y partículas en los centros urbanos, consiguiendo por tanto atmósferas más limpias en las ciudades.

² <http://www.ine.es/prensa/np547.pdf>

Las implicaciones que suponen disponer una alta Calificación Energética en Edificios empieza a ser entendida por los usuarios y el concepto de “hipoteca energética” está calando cada vez más en ellos, de manera que cada vez son más demandados edificios de menor consumo de energía y que generan menos emisiones.

El objeto del presente estudio es por tanto analizar el efecto que la incorporación de instalaciones solares térmicas tendría en la calificación energética de edificios tanto existentes como de nueva construcción. Para ello, se analizarán diversas tipologías edificatorias de los sectores residencial y terciario correspondientes a diferentes años de construcción y que estarán ubicados en diferentes zonas geográficas. El análisis debe determinar qué impacto tiene la contribución solar térmica sobre las diferentes demandas térmicas de los edificios analizados, agua caliente sanitaria, calefacción, refrigeración y climatización de piscina en el caso de existir.

Los edificios se definirán en las herramientas de calificación energética conforme a las variables mencionadas anteriormente y se simulará el comportamiento de las instalaciones solares para abastecer las diferentes demandas consideradas. En una primera fase se analizará el efecto sobre la calificación de la incorporación de energía solar para abastecer las demandas de ACS y climatización de piscina, y en una segunda fase se analizará el impacto sobre la calificación de la incorporación de energía solar para satisfacer también las demandas de calefacción y refrigeración.

2.4 Legislación

A continuación se describe brevemente la normativa que afecta al sector de la edificación en materia de eficiencia, calificación energética e incorporación de energías renovables:

- **Real Decreto 235/2013**, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Deroga y completa el anterior **Real Decreto 47/2007** que trasponía la Directiva 2002/91/CE. Este nuevo Real Decreto traspone la Directiva 2010/31/UE ampliando el ámbito de aplicación a los edificios existentes. Entre otras cosas se establece la **obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética (CEE)**. De esta manera, se podrá valorar y comparar la eficiencia energética de los edificios y **se favorecerá la promoción de los edificios de mayor eficiencia energética así como las inversiones en ahorro de energía y de incorporación de energías renovables** que mejoren la Calificación Energética de los Edificios.
- **Real Decreto 314/2006**, de 10 de septiembre, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE). Es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).

La necesidad de transponer la Directiva 2002/91/CE, de eficiencia energética de los edificios deroga y sustituye al antiguo Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio e incorpora, además, la experiencia de su aplicación práctica durante los últimos años. La entrada en vigor de este Real Decreto

supuso a través de su sección HE4 la obligación de disponer de una contribución solar mínima para agua caliente sanitaria en los edificios.

La modificación efectuada a través de la **Orden FOM/1635/2013** de la sección HE correspondiente al ahorro de energía simplificaba y aclaraba, entre otras cosas, la sección HE4 existente. También incorporaba una nueva sección HE0 que imponía limitaciones en cuanto al consumo de energía no renovable de los edificios de nueva construcción.

- **Real Decreto 1027/2007**, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (en adelante RITE) establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía. Se incorporan características particulares a cumplir por las instalaciones solares térmicas en materia de eficiencia energética, control, mantenimiento, etc. El Real Decreto 238/2013 modificó posteriormente determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento.

3 Análisis tecnológico

La energía solar es un recurso seguro, abundante y autóctono, el cual, además de ser gratuito, está disponible en el mismo punto de consumo. La energía solar térmica como fuente de energía se puede utilizar para producir agua caliente sanitaria (ACS), calentar piscinas, y climatizar edificios.

Los captadores solares absorben la energía del sol y la transforman en calor aprovechable para múltiples aplicaciones, tanto en edificios como en industrias. Existen diferentes tecnologías de captación solar cuyo diseño varía enormemente. Algunas tecnologías permiten alcanzar temperaturas de hasta cientos de grados centígrados.

3.1 Configuraciones de instalaciones solares

Existen muchas configuraciones posibles de instalación solar térmica pero éstas se dividen principalmente en dos tipos, las instalaciones solares prefabricadas y las instalaciones solares a medida o por elementos.

Las **instalaciones solares prefabricadas** responden a una definición específica. Se trata de lotes de productos con una marca registrada que son vendidos como equipos completos y listos para instalar con configuraciones fijas. Dichas configuraciones se centran casi exclusivamente en satisfacer la demanda de ACS de edificios pequeños o unifamiliares y están diseñadas para responder a pequeños volúmenes de demanda de ACS (normalmente hasta 500 litros). En este tipo de configuraciones el acumulador solar suele ubicarse en el exterior sobre los captadores, de manera que el fluido caloportador pueda circular por efecto termosifón. Por este motivo, su uso se restringe únicamente a zonas donde la temperatura ambiente no es demasiado baja, de esta manera se evitan pérdidas excesivas en el depósito y el riesgo de congelación.

Las **instalaciones solares por elementos** son aquellas que se montan de forma única eligiendo y dimensionando sus componentes en función de las necesidades específicas del proyecto. Es decir, número de captadores, tipo de captador, bombas de circulación, intercambiadores de calor, depósitos, etc. No existe un límite de tamaño o de uso para este tipo de instalaciones, pueden ir desde dos hasta decenas de miles de m², como es el caso de las grandes instalaciones solares para climatización urbana centralizada. Este tipo de instalaciones suele ser de tipo forzado, es decir, que precisan de bombas para hacer circular el fluido por los diferentes circuitos. Atendiendo a la configuración hidráulica elegida, las instalaciones se pueden clasificar en diferentes tipologías: acumulación solar centralizada o descentralizada, generación auxiliar centralizada o descentralizada, etc.

Normalmente, las instalaciones solares se suelen separar en al menos dos circuitos hidráulicos denominados primario y secundario. El circuito primario, que puede llevar anticongelante para evitar el riesgo de heladas, es el circuito donde se integran los captadores solares. El calor captado es transferido mediante un intercambiador de calor al circuito secundario.

El circuito secundario, que puede ser el circuito de consumo de agua caliente, es aquel que transporta el calor captado a un sistema de almacenamiento, normalmente un depósito de agua, desde donde a su vez pasa al sistema de apoyo que suministrará la energía necesaria para alcanzar la temperatura de utilización fijada antes de ir a los puntos de consumo.

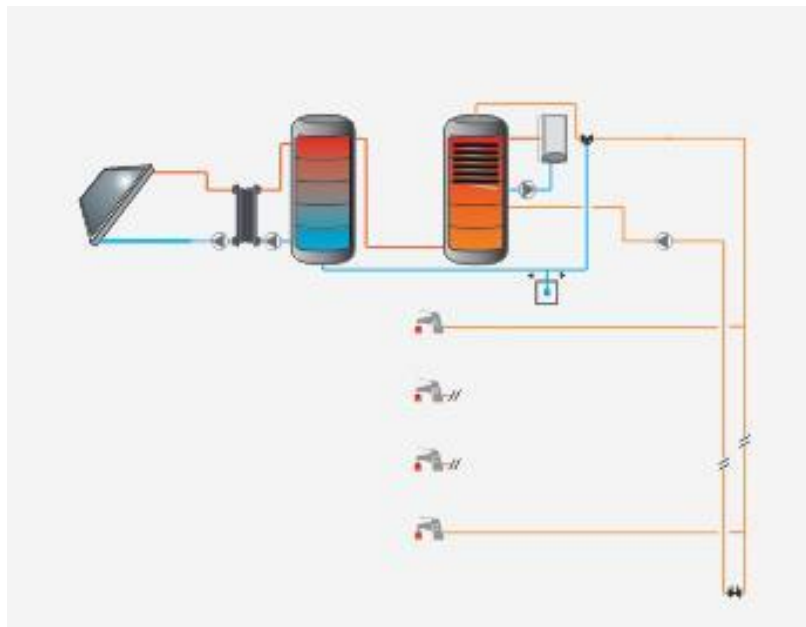


Figura 1: Sistema de acumulación solar y auxiliar centralizado (Fuente: CHEQ4)

En determinadas ocasiones las instalaciones se separan en tres circuitos independizando el sistema de acumulación del circuito de consumo. De esta manera se evita que el agua de acumulación pueda ir directamente a los puntos de utilización. El calentamiento del agua de consumo se hace de manera instantánea mediante un segundo intercambiador de calor. Este tipo de configuración suele emplearse en aquellos casos en los que preocupa de manera especial la posible exposición de los usuarios a la legionela.

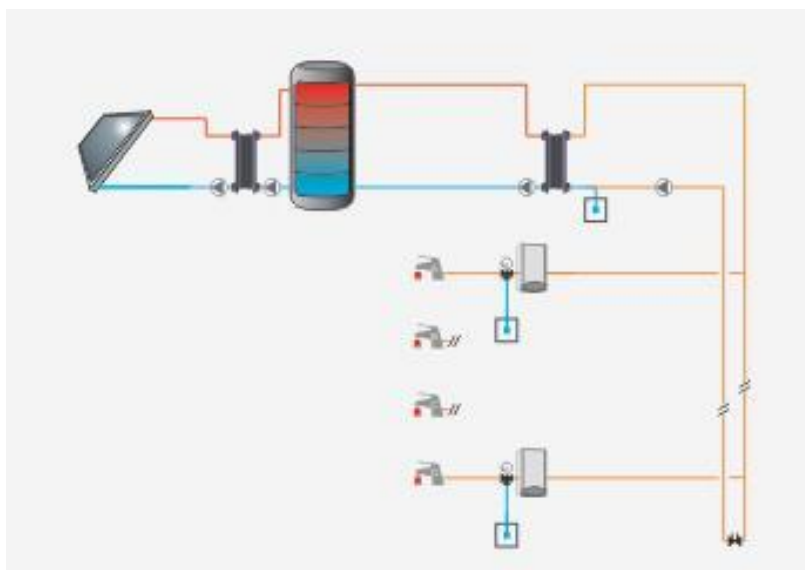


Figura 2: Sistema de acumulación solar centralizado y auxiliar descentralizado (Fuente: CHEQ4)

Existen sistemas donde la acumulación de energía solar no se hace de forma centralizada sino que se distribuye de forma individual para cada usuario. Este tipo de configuración es más habitual en edificios de viviendas que en el sector terciario.

Los **sistemas de acumulación descentralizada** permiten que cada usuario disponga de la energía solar generada durante el día a su exclusiva disposición pero sin embargo, valorando la eficiencia energética del conjunto, suponen aumentar la superficie a través de la cual se podrán producir mayores pérdidas energéticas, ya que un mayor número de acumuladores para un mismo volumen de acumulación suponen una mayor superficie de intercambio. Además, en general, en este tipo de sistemas el agua caliente que se distribuye por el sistema de tuberías desde el intercambiador de calor con el circuito primario hasta los acumuladores solares individuales, circula a una temperatura mayor que si se tratase de un circuito de distribución de agua caliente directamente para consumo, lo cual aumenta también las pérdidas térmicas.

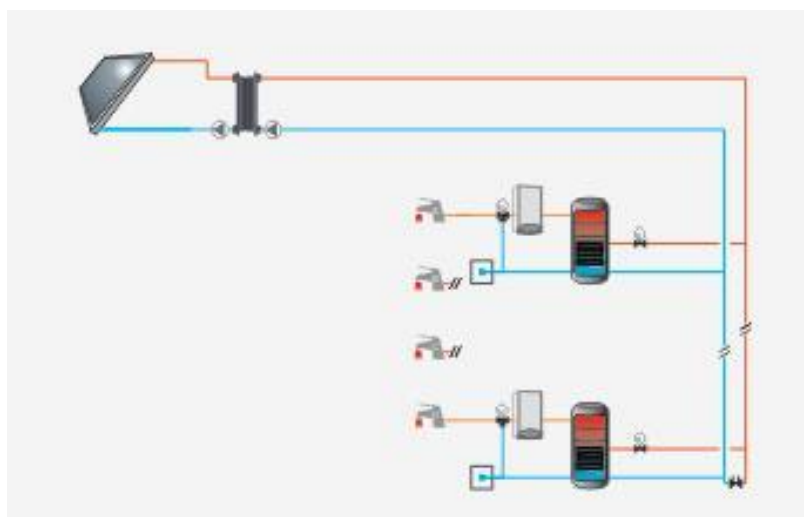


Figura 3: Sistema de acumulación solar descentralizado y auxiliar descentralizado (Fuente: CHEQ4)

3.2 Tecnologías de captación solar

Existen diferentes tecnologías de captación de energía solar térmica que se pueden emplear en la edificación. Su selección depende normalmente de la temperatura de la aplicación a la que se vayan a destinar aunque también pueden influir en su determinación otros factores como sus posibilidades de integración arquitectónica, peso, estética, etc.

Los captadores solares térmicos no disponen en principio de un dato de potencia nominal medida en kW como ocurre con otro tipo de generadores térmicos como las calderas, bombas de calor, etc. sino que disponen de una curva de rendimiento medida en laboratorio. El rendimiento del captador dependerá de la radiación solar recibida, de la temperatura ambiente y de la temperatura de uso de la instalación. A pesar de que como se ha mencionado, un captador no dispone de un dato de potencia, de forma generalizada, y así se ha establecido en el RITE, se considera que un m² de captador solar supone una potencia equivalente de 0,7 kW.

El rendimiento del captador será tanto mayor cuanto mayor sea la radiación solar incidente y la temperatura ambiente y menor la temperatura de trabajo de la instalación.

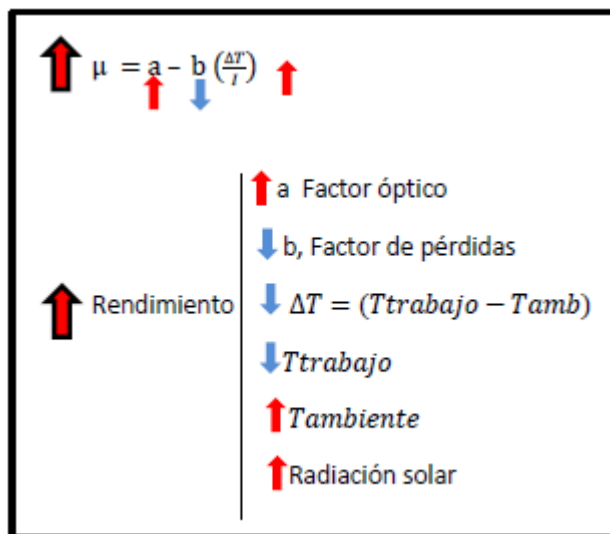


Figura 4: Curva de rendimiento lineal de un captador solar (Fuente: Elaboración propia)

Los captadores más utilizados en la edificación son los captadores solares planos y los de tubos de vacío, ya que son los que mejor se adaptan a las temperaturas demandadas por las aplicaciones de producción de ACS y climatización de piscinas, que a su vez son las aplicaciones más demandadas para ser abastecidas con energía solar. No obstante, existen otras tecnologías, como los captadores solares de concentración y los captadores solares de aire, que aunque hasta la fecha no están siendo muy utilizados están incrementando su presencia en los edificios de forma paulatina.

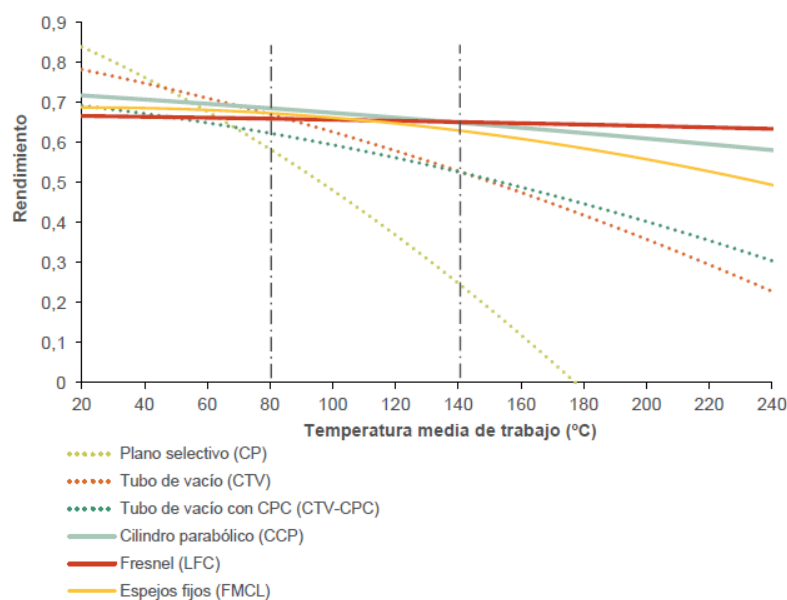


Figura 5: Curva de rendimiento de varios captadores solares (Irradiancia: 1.000 W/m^2 ; $T_{amb}=20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; ángulo de incidencia $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$) (Fuente: IDAE³)

³ [Análisis de potencial y oportunidades de integración de energía solar térmica en redes de climatización IDAE](#)

En el gráfico anterior se puede apreciar como para temperaturas de trabajo cercanas a los 60 °C, la diferencia en cuanto a rendimiento es casi inexistente entre las diferentes tecnologías representadas, pudiendo llegar incluso a obtenerse mayores rendimientos en los captadores solares planos que en los de concentración.

En España los captadores solares pueden certificarse conforme a lo dispuesto en la Orden de 28 de julio de 1980 y en las Ordenes ITC/71/2007 e ITC/2761/2008. La actual norma de ensayo de captadores solares UNE-EN ISO 9806:2014 recoge ya de manera explícita la metodología de ensayo a llevar a cabo para obtener el rendimiento de los captadores solares de concentración y de aire, por lo que estos ya se pueden certificar por el organismo competente.

En los siguientes apartados se describen brevemente cada una de las tecnologías anteriormente mencionadas.

3.2.1 Captadores solares no vidriados

Los captadores no vidriados suelen estar fabricados en materiales plásticos. El absorbedor no se encapsula en una carcasa aislada y vidriada, de manera que, por un lado, no se beneficia del efecto invernadero y por otro, sus pérdidas térmicas son altas cuando la temperatura ambiente es baja. Su aplicación principal consiste en la climatización de piscinas descubiertas ya que este tipo de captadores alcanzan temperaturas que no suelen superar los 40 °C.

Suelen ser captadores ligeros y flexibles que se superponen a las cubiertas de los edificios o se disponen de forma horizontal sobre el suelo.

3.2.2 Captadores solares planos

Los captadores solares planos son los captadores más ampliamente utilizados en la edificación. Disponen de un elemento denominado absorbedor que será el elemento encargado de captar la radiación solar y transferirla en forma de energía térmica al fluido caloportador. Los absorbedores pueden incorporar un tratamiento selectivo en su superficie para mejorar la absorción de la radiación solar. El absorbedor, a su vez, se aloja en una carcasa aislada por su parte trasera que disminuirá las pérdidas térmicas y que por su parte delantera presentará una superficie vidriada por la que penetrará la radiación solar y que también disminuirá las pérdidas hacia el ambiente.

Los captadores solares planos suelen utilizarse en aplicaciones donde se requiera alcanzar temperaturas de entre 60 y 80 °C, como producción de ACS, climatización de piscina, calefacción por suelo radiante, climatización, procesos industriales, etc.

Los captadores solares se ubican sobre una estructura metálica que les dará la inclinación necesaria para optimizar la captación solar y que a su vez se dispondrán sobre la cubierta del edificio, pérgolas de parkings, directamente sobre el suelo, etc.

3.2.3 Captadores solares tubo de vacío

Los captadores solares de tubo de vacío son captadores que presentan menores pérdidas térmicas que las de los captadores solares planos. El absorbedor en este caso se encuentra ubicado en el interior de una ampolla de vidrio donde se hace el vacío. El captador estará formado por un conjunto de estas ampollas conectadas a un colector por el que circulará el fluido caloportador de la instalación.

Las menores pérdidas hacen que este tipo de captadores puedan ser utilizados en aplicaciones que requieran mayores temperaturas, de 80 - 100 °C como pueden ser las aplicaciones de calefacción por radiadores, climatización mediante máquina de absorción, etc.

Los captadores de tubo de vacío se pueden inclinar para maximizar la captación de radiación solar, como ocurre en el caso de los captadores solares planos, o bien, se pueden disponer de forma horizontal o vertical. Esta última opción es posible dado que los tubos pueden girar sobre su eje dotando al absorbedor de cierta inclinación lo cual mejora sus posibilidades de integración arquitectónica.

3.2.4 Captadores solares de concentración

Los colectores solares de concentración son equipos que concentran la radiación solar directa mediante espejos en un tubo absorbedor que puede ser de vacío. Precisan disponer de sistemas de seguimiento que permitan concentrar la radiación solar directa sobre el absorbedor mientras el sol se desplaza. Las tecnologías más utilizadas son los captadores cilindro parabólicos y los captadores Fresnel.

Este tipo de captadores puede alcanzar temperaturas de hasta 400 °C aunque también pueden ser usados a menor temperatura. Su uso en edificación podría emplearse para satisfacer la demanda de refrigeración del edificio mediante el empleo de máquinas de absorción de doble efecto o para suministrar calefacción mediante radiadores.

Normalmente se ubican sobre el suelo aunque también se pueden ubicar sobre cubiertas de edificios o pérgolas. Existen modelos de pequeño tamaño específicamente diseñados para su uso en edificación.

3.2.5 Captadores solares de aire

El captador solar de aire es una tecnología que presenta diseños muy diferentes entre sí. En este caso el fluido caloportador no es un líquido, sino aire que se hace circular por los captadores mediante el uso de ventiladores.

Existen captadores vidriados y no vidriados, captadores para integración en fachada, etc. Las temperaturas alcanzadas dependen del diseño elegido y pueden oscilar entre los 40 y los 60 °C. Se suelen usar para calefactar edificios, recintos con piscina, secado, etc.

3.3 Aplicaciones

La energía solar térmica, con carácter general, no tiene límites en cuanto al tipo de aplicación a abastecer ya que, como se ha visto anteriormente, los captadores solares de concentración pueden producir vapor a temperaturas de hasta 400 °C.

Las principales aplicaciones de la energía solar térmica son producción de ACS, climatización de piscinas, calefacción, refrigeración solar y procesos industriales.

3.3.1 Calentamiento de agua mediante energía solar

Los sistemas solares térmicos para calentamiento de agua caliente sanitaria representan las aplicaciones más extendidas de la energía solar térmica en la actualidad. Dado que las instalaciones solares térmicas tienen limitada la gestionabilidad de su producción, éstas precisan abastecer demandas de energía lo más constantes posible a lo largo de todo el año donde poder verter toda su producción energética, como ocurre con la demanda de ACS.

Los captadores más utilizados suelen ser los captadores planos ya que, como se ha visto anteriormente, no se justifica la utilización de captadores de mejor rendimiento para aplicaciones en las que se precisa alcanzar temperaturas de entre 45 y 60 °C.

En viviendas unifamiliares ubicadas en zonas donde la temperatura ambiente es suave se suelen emplear equipos prefabricados termosifónicos, donde el agua calentada en los captadores solares asciende por efecto termosifón por el interior del captador, sin necesidad de ningún medio de impulsión mecánica para calentar un depósito de agua que se suele disponer de forma horizontal sobre estos. Si las temperaturas exteriores fuesen demasiado bajas se producirían excesivas pérdidas térmicas, e incluso la rotura por congelación, en el acumulador que estaría ubicado a la intemperie.

En instalaciones ubicadas en zonas donde la temperatura ambiente puede bajar de los cero grados, o en el caso de instalaciones de mayor tamaño, se suelen emplear instalaciones por elementos donde los captadores se ubican normalmente en la cubierta y los depósitos y resto de instalación, en las salas de máquinas ubicadas en el interior del edificio.

La contribución solar a alcanzar en estos casos depende de si el edificio es objeto del ámbito de aplicación de la sección HE4 del Código Técnico de la Edificación, en cuyo caso la cobertura sería determinada en función de la demanda de ACS del edificio y de la zona climática donde se ubique:

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	40	50	60
5.000-10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

Tabla 2: Contribución solar mínima anual para ACS en % (Fuente CTE)

En el caso de que la instalación solar no se encuentre bajo el ámbito de aplicación establecido en la sección HE4 del CTE, es decir, que se haga de forma voluntaria, la fracción solar debe de buscar el óptimo técnico y económico que consiga satisfacer la mayor demanda de ACS al menor coste posible. La contribución solar a alcanzar en estos casos también puede venir determinada por restricciones físicas como la disponibilidad de espacio para la ubicación de captadores solares.

3.3.2 Calefacción con energía solar

Las instalaciones solares térmicas pueden utilizar directamente el calor captado en el sistema de calefacción de un edificio, bien utilizando el agua calentada directamente en el circuito de distribución hasta las unidades terminales (suelo radiante o radiadores), o bien indirectamente, alimentando las baterías de calor de unidades de tratamiento de aire o fan-coils, que a su vez calentarán el aire introducido en los locales a climatizar.

Como se ha visto anteriormente, las instalaciones solares térmicas trabajan a mejor rendimiento cuanto menor sea su temperatura de trabajo, por ello, los sistemas de calefacción abastecidos con energía solar suelen utilizar emisores de baja temperatura como suelos radiantes o radiadores de gran superficie que trabajan a unos 45-50 °C de temperatura. En estos sistemas el calor generado durante el día por la instalación solar se almacena en un depósito de acumulación de inercia desde el que a su vez se abastece en paralelo al sistema de distribución del edificio cuando existe demanda de calefacción.

Existen sistemas novedosos que combinan energía solar térmica con bombas de calor. En estos casos la energía solar térmica actúa calentando un depósito que a su vez cede calor al evaporador de la bomba de calor. Durante el proceso de evaporación la temperatura del depósito puede descender hasta temperaturas que pueden llegar a varios grados bajo cero. Estos sistemas permiten el aprovechamiento de la energía solar incluso cuando las temperaturas alcanzadas en el sistema de captación son muy bajas.

Existe un tercer modo de proporcionar calefacción a un edificio, esta vez empleando aire como fluido caloportador. En este caso, el sistema de captación estaría compuesto por captadores solares de aire, por los cuales circula el aire que será introducido posteriormente en el edificio.

3.3.3. Refrigeración con energía solar

Una de las particularidades de la energía solar térmica es que su capacidad de generación corresponde con la disponibilidad del recurso solar, lo cual, complica la posibilidad de satisfacer demandas energéticas que no coincidan con la temporada de mayor potencial de producción, como ocurre con la demanda de calefacción de un edificio en invierno. Una instalación solar dimensionada para satisfacer únicamente parte de esta demanda, supondría un exceso de producción en verano.

Para solventar este problema, es necesario encontrar una demanda complementaria a la de calefacción que satisficiera en verano que absorba la energía solar excedentaria producida, como podría ser la demanda de refrigeración del edificio o la de climatización de piscina.

También se podría recurrir al almacenamiento estacional del exceso de energía generada en verano para su posterior uso en invierno. El uso de ésta última solución se restringe a instalaciones solares de grandes dimensiones como las que se emplean en redes de climatización urbana.

Puesto que las piscinas climatizadas presentan muy baja o nula demanda de energía en los meses más cálidos de verano los esfuerzos hasta la fecha se han centrado en buscar maneras de generar frío a partir del calor generado por la instalación solar.

Existen tecnologías que son capaces producir frío mediante aportación de calor, su funcionamiento se basa en diferentes conceptos técnicos, mecanismos de absorción y de adsorción respectivamente. Dentro de las tecnologías de absorción, a su vez, existen dos tipos principales de máquinas, las de simple efecto y las de doble efecto. En la siguiente tabla se explican las principales diferencias entre los distintos tipos de enfriadora.

Proceso	Absorción		Adsorción
Etapas	Simple efecto	Doble efecto	Simple efecto
Ad/absorbente	Bromuro de litio		Gel de sílice
Refrigerante	Agua/amoniaco		Agua
T. del generador	80°C - 110°C	140°C - 160°C	60°C - 95°C
Alimentación	Agua caliente o sobrecalentada	Agua o vapor sobrecalentado	Agua caliente
COP	0.6 – 0.8	0.9 – 1.2	0.4 – 0.7
Disponibilidad del mercado	<35kW mercado incipiente 35kW – 100kW algunos fabricantes >100kW amplio mercado	>100kW amplio mercado	<50kW (Sort.) 50kW – 350kW (May.) 70kW – 1220kW (Nis.)
Fabricantes	Climatewell, Sonnenklima, Schucö, Yazaki, Broad, EAW, Carrier, Trane, York, LG Machinery, Sanyo-McQuay, Entropie...		Sortech, Mayekawa, Nishiodo
Colectores solares utilizables	Colectores planos de superficie selectiva Tubos de vacío CPC (con concentrador cilindro-parabólico compuesto)	PTC (colectores cilindro-parabólicos)	Colectores planos de superficie selectiva Tubos de vacío CPC (con concentrador cilindro-parabólico compuesto)

Tabla 3: Tipos de máquinas enfriadoras por absorción (Fuente IDAE⁴)

⁴ [Evaluación del potencial de climatización con energía solar térmica en edificios](#)

Las máquinas de absorción de simple efecto y las máquinas de adsorción se pueden alimentar mediante la energía generada por captadores solares planos y de tubo de vacío, ya que estos captadores pueden alcanzar las temperaturas de activación exigidas por las enfriadoras. Los coeficientes de operación son tales que por cada kWh térmico suministrado por la instalación solar se obtendría teóricamente entre 0,6 kWh y 0,8 kWh de frío.

Las tecnologías solares de concentración pueden alimentar a máquinas de absorción de doble efecto que precisan mayores temperaturas de activación y funcionan con rendimientos que pueden llegar a duplicar el rendimiento de las de simple efecto.

Por último, existen sistemas novedosos que incorporan captadores solares de tubo de vacío en el ciclo de compresión de máquinas enfriadoras. Los captadores incrementan la temperatura y presión del fluido refrigerante de forma previa a su entrada en el compresor disminuyendo su consumo eléctrico.

4 Metodología

Para realizar este estudio ha sido necesario definir una metodología que permita optimizar el esfuerzo a realizar ya que, el número de casos de estudio posible que se puede producir, como resultado de combinar todas las variables que se van a definir, puede ser muy alto. De esta manera, se descartarán aquellos casos de estudio que no se consideren suficientemente representativos o aquellos en los que se estime a priori que la incorporación solar no suponga una mejora significativa de su calificación energética.

- Definir los edificios, en cuanto a sus características constructivas, instalaciones térmicas, ubicación, etc. que representarán nuestros casos de estudio.
- Obtener la calificación energética de los edificios antes de incorporar las instalaciones solares térmicas.
- Determinar qué demandas térmicas o aplicaciones serán abastecidas por la instalación solar y dimensionar las instalaciones solares que las abastecerán.
- Obtener la calificación energética después de incorporar la instalación solar para abastecer las demandas térmicas correspondientes al ACS y climatización de Piscina.
- Obtener la calificación energética después de incorporar la instalación solar para abastecer las demandas térmicas correspondientes a calefacción, refrigeración, ACS y climatización de Piscina.

Para la elaboración de los casos que se estudiarán en este documento se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- Tipología edificatoria y características constructivas (legislación constructiva aplicable)
- Zona climática (ubicación)
- Instalaciones térmicas y fuente de energía consumida
- Demandas térmicas abastecidas por la energía solar

Se considerarán diferentes variantes para cada variable, más adelante se explicarán los criterios tenidos en cuenta a la hora de proceder a su selección. La combinación de todas las variantes elegidas para cada variable dará como resultado un número de 168 casos de estudio a analizar.

Se evaluarán edificios del sector residencial y terciario. En el sector residencial se evaluarán edificios unifamiliares y plurifamiliares, en el sector terciario se analizarán oficinas, centros comerciales, hospitales, centros deportivos y hoteles.

Una vez seleccionados los tipos de edificios a analizar se considerará que estos fueron construidos en cuatro periodos diferentes, de manera que sus características constructivas variarán en función de la legislación que les aplicara en cada momento. Los periodos considerados coinciden con los existentes en el programa C3X para asignar materiales por defecto a las envolventes y puentes térmicos. Se han considerado edificios construidos antes de 1981, entre 1981 y 2007, entre 2007 y 2014 y posteriores a 2014.

Los edificios se ubicarán en cuatro zonas climáticas diferentes que buscan representar la mayor parte posible del territorio nacional.

Los tipos de instalación térmica y la fuente de energía utilizada en ellas se asignarán a cada edificio de manera que éstas sean representativas de la situación real. El tipo de instalación térmica y el combustible utilizado serán en general los mismos para cada tipología edificatoria independientemente de su ubicación y año de construcción. No obstante, se han incluido algunos casos adicionales donde, por razones justificadas, se plantean instalaciones térmicas alternativas con objeto de aumentar la representatividad de los casos seleccionados en el estudio.

Las aplicaciones o demandas térmicas a abastecer por energía solar serán el ACS, climatización de piscina, calefacción y refrigeración y se seleccionarán en función de la tipología edificatoria, localización y cantidad de energía demandada por aplicación.

A continuación se resumen en una tabla donde se resumen las variables que combinadas darán lugar a los diferentes casos de estudio:

Tipología edificatoria	Zona climática	Año de construcción	Tecnología aplicable
Residencial unifamiliar	B4, V	Antes de 1981	ACS + piscina
Residencial plurifamiliar			
Terciario oficinas	D3, IV	Entre 1981 y 2007	ACS + piscina
Terciario hospitales			
Terciario centros comerciales	E1, III*	Entre 2007 y 2014	ACS + Calefacción + Refrigeración
Terciario polideportivos			
Terciario hoteles	α3, V	Después de 2014	

*Caso de aplicación de CTE anterior a 2013, zona E1, II

Tabla 4: Tabla resumen de variables

El proceso de selección de los valores tenidos en cuenta para cada variable a simular se desarrollará en los siguientes apartados. Como se verá más adelante, no se simularán todas las combinaciones posibles dado que algunas pueden no ser realistas, representativas o simplemente pueden no tener sentido técnico.

4.1 Tipologías edificatorias y características constructivas

Se han seleccionado aquellas tipologías edificatorias sobre las que se considera que puede ser más interesante incorporar energía solar térmica y se han descartado aquellas sobre las que se ha estimado que, con carácter general, la incorporación de energía solar no tendría un alcance significativo.

En el presente estudio se tendrán en cuenta las siguientes tipologías:

1. Residencial unifamiliar.
2. Residencial plurifamiliar.
3. Terciario oficinas.
4. Terciario hospitales.
5. Terciario centros comerciales.
6. Terciario polideportivos.
7. Terciario hoteles.

No se han considerado en este estudio otras tipologías edificatorias como centros educativos, centros culturales, etc. ya que su comportamiento energético se podría equiparar al de alguna de las tipologías seleccionadas como por ejemplo, las oficinas.

Para la modelización energética de los edificios se ha utilizado el programa de Calificación Energética de Edificios Existentes CE3X. No se han utilizado programas más complejos que permiten por ejemplo la definición de diferentes espacios, para evitar que el aumento de definición de las zonas interiores derive en un comportamiento singular no extrapolable a otros edificios. Asimismo, la parametrización de las características que definen al edificio se puede hacer de manera sencilla y rápida que permite una fácil integración de los sistemas solares a estudiar.

Para cada edificio se definirá:

1. Área de la planta.
2. Número de plantas.
3. Porcentaje de superficie de cerramientos transparentes.
4. Características térmicas de los cerramientos (muros, fachadas y ventanas) y puentes térmicos de acuerdo con el año de construcción.

Los edificios se han caracterizado geométricamente de manera sencilla como paralelepípedos de planta cuadrada y se han orientado de forma paralela a los ejes Norte-Sur y Este-Oeste. De esta manera se ha evitado el uso de edificios con morfologías complejas que puedan tener comportamientos energéticos complejos singulares poco representativos.

Las características asignadas a los diferentes cerramientos de los edificios son las consideradas por defecto en el programa para cada periodo constructivo considerado y se describen de forma detallada en el capítulo 5 correspondiente “*Simulaciones*”.

A continuación se describen geométricamente los diferentes edificios considerados:

		Superficie planta (m ²)	Área total (m ²)	Volumen total (m ³)
Residencial	Residencial unifamiliar 2 Plantas	100	200	600
	Residencial plurifamiliar 4 Plantas	400	1.600	4.800
	Residencial plurifamiliar 8 Plantas	784	6.272	18.816
Terciario	Oficinas 4 Plantas	400	1.600	4.800
	Oficinas 8 Plantas	784	6.272	18.816
	Hospitales 7 Plantas	1.600	11.200	33.600
	Centros Comerciales 2 Plantas	20.164	40.328	120.984
	Polideportivos 2 Plantas	3.969	7.938	23.814
	Hoteles 6 Plantas	3.025	18.150	54.450

Tabla 5: Superficie del terreno, área construida y volumen de los edificios considerados

4.2 Zonas climáticas

Existen dos tipos diferentes de zona climática definidas en el Código Técnico de la Edificación.

En la sección HE1 “*Limitación de la demanda energética*” se establecen una serie de zonas climáticas para las que se definen unas solicitudes exteriores (fundamentalmente cargas térmicas debidas al clima) comunes a efectos de cálculo de la demanda energética. Estas zonas climáticas se definen atendiendo a la severidad climática de verano y de invierno de cada región.

Por otro lado, la sección HE4 “*Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*” establece cinco zonas climáticas que en este caso dependerán de la radiación solar media diaria anual recibida sobre una superficie horizontal.

4.2.1 Zonas Climáticas por Severidad climática

Se identifican mediante una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno, y un número, correspondiente a la severidad climática de verano.

La escala de severidad climática de invierno (SCI) asigna las letras “α” y “A” a las zonas menos severas y la letra E a las de mayor severidad. La escala de severidad climática de verano (SCV) asigna el número 1 a las zonas climáticas menos severas y el 5 a las más severas. No todas las combinaciones

de severidad climática están representadas ya que, por ejemplo, no existen zonas de SCI poco severas (A) donde la SCV sea también poco severa. Las combinaciones existentes dan como resultado la existencia de doce zonas climáticas en la península y de una en el archipiélago Canario.

A continuación se muestra un mapa de la península donde se distinguen las zonas climáticas atendiendo a la severidad climática definidas en el CTE.



Figura 6: Severidad Climática por provincia (Fuente Elaboración propia)

El mapa identifica de forma uniforme la totalidad de cada provincia con la zona de severidad climática de su capital ya que se pretende dar una idea de que provincias pueden disponer de zonas de severidad climática semejante. No obstante, hay que tener en cuenta que a cada municipio le corresponde en realidad una zona climática que podrá ser diferente de la de la capital y que dependerá de su altura sobre el nivel del mar.

4.2.2 Zonas climáticas por radiación incidente

La sección HE4 del CTE de 2006 establecía 5 zonas climáticas diferentes, identificadas mediante números romanos, las cuales se definieron teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual incidente sobre superficie horizontal.

Zona	MJ/m ²	kWh/m ²
I	< 13.7	< 3.8
II	>=13.7 - 15.1	>=3.8 – 4.2
III	>=15.1 – 16.6	>=4.2 – 4.6
IV	>=16.6 – 18.0	>=4.6 – 5.0
V	>= 18.0	>= 5.0

Tabla 6: Radiación Solar media diaria anual sobre superficie horizontal (Fuente CTE-HE4 2006)

Con el fin de disminuir el número de casos de estudio a analizar, se seleccionarán cuatro localizaciones que sean representativas, en el mayor grado posible, de todo el territorio. Para ello se han elegido las siguientes combinaciones de zona climática por severidad climática y por radiación solar:

- Zona climática con radiación incidente alta y alta severidad climática de verano. Ésta combinación correspondería a localidades del sur y levante de España como Sevilla, Valencia, Murcia, Palma de Mallorca, etc.
- Zona climática con radiación incidente media y moderada severidad climática. Zona característica de localidades ubicadas en zonas de interior y centro como Madrid, Gerona, Salamanca, Albacete, etc.
- Zona climática con radiación incidente baja y alta severidad climática de invierno. Correspondería a zonas ubicadas en la mitad norte. Quedaría representada por localidades como Burgos, Oviedo, Pamplona, etc.

Debido a la peculiaridad de las islas Canarias se ha considerado relevante incluir en este estudio el análisis del sector terciario hotelero en esta localidad.

Dentro de las posibilidades existentes, se han seleccionado las localidades que se han considerado más representativas de dichas combinaciones de zonas climáticas y que serán las ubicaciones donde se simularán los diferentes edificios tenidos en cuenta en este estudio. Las ciudades elegidas son las siguientes:

- Sevilla, zona B4 y V.
- Madrid, zona D3 y IV.
- Burgos, zona E1 y III (II).
- Las Palmas de Gran Canaria, zona α 3 y V.

4.3 Instalaciones térmicas existentes o de referencia

Una vez definidas las características constructivas del edificio, conforme se ha visto en el apartado 4.1 y se describen en el capítulo 5 de *Simulaciones*, es necesario definir las instalaciones que satisfarán las diferentes demandas térmicas de los edificios existentes y de los edificios de nueva construcción determinando qué potencia tendrán y qué tipo de fuente de energía usarán.

El tipo de instalación y fuente de energía utilizada en los edificios existentes se seleccionará en base a la información obtenida en estudios e informes publicados por IDAE, los cuales determinan cual ha sido la tendencia de uso hasta ahora. En el caso de los edificios de nueva construcción, las instalaciones que se prevén se denominarán de referencia y serán elegidas siguiendo con la tendencia actual.

En cuanto a la potencia de los diferentes equipos de generación, su determinación requeriría de un cálculo diferenciado para cada caso a analizar, ya que ésta, dependerá de la ubicación y del grado de aislamiento de cada edificio. Con el objeto de simplificar los mencionados cálculos se ha optado por estimar un ratio de potencia en función de la superficie del edificio para cada tipo de sistema de generación para calefacción y refrigeración.

Con respecto a la potencia de los sistemas de generación de ACS, ésta se determinará en base a la demanda diaria del edificio considerando una determinada ocupación para cada uno de ellos.

Existen ratios⁵ de potencia de calefacción y refrigeración por m² de superficie a climatizar, comúnmente utilizados, que se pueden tomar como valores estimados para la determinación de la potencia de los equipos de generación de calor y frío como una buena primera aproximación.

Aunque en principio podría parecer que debiera existir diferencias sensibles en cuanto al ratio potencia/superficie a utilizar en función de la localización del edificio, lo cierto es que este se mantiene sensiblemente constante, ya que los edificios se aíslan en mayor grado en las localidades más frías. Los valores que se tendrán en cuenta en este estudio son los siguientes:

	Potencia Calefacción (W/m ²)	Potencia Refrigeración (W/m ²)
Sector residencial	100	100
Sector terciario	100	200

Tabla 7: Potencia calefacción y refrigeración para edificios sector residencial y terciario.

En el estudio de potencial de incorporación de energía solar en redes para Barcelona se mostraban los siguientes datos de potencia que justifican la decisión tomada:

Tipología del edificio	Calor (W/m ²)	Frío (W/m ²)
Oficinas	20 – 150	60 – 225
Hoteles	50 – 120	65 – 130
Comercial	50 – 100	80 – 144
Vivienda	75 – 100	0 – 90

Tabla 8: Demandas térmicas típicas según tipología de edificio.

Se considerará que en los edificios terciarios se climatizará el 100 % de la superficie. En los edificios residenciales se considera que sólo un 25% de la superficie estará refrigerada.

Se considera que todos los edificios del sector terciario contarán con instalaciones centralizadas. Sin embargo, en el caso de edificios residenciales, existe la necesidad de determinar si los sistemas de generación de calor y frío deben ser centralizados o individuales.

⁵ Según indica ATECYR en una de sus publicaciones “Fundamentos de climatización”

A continuación se muestra el porcentaje de edificios calefactados y tipo de sistema de calefacción utilizada (individual o colectiva) según los datos extraídos del INE (datos hasta 2011) para cada una de las localidades objeto del estudio y para los diferentes periodos de construcción considerados:

Localidad	Año	4 Plantas (%)			
		Sin acondicionar	Acondicionado	Colectiva	Individual
Burgos	<1981	9,39	90,61	17,52	82,48
	1981-2007	0,90	99,10	15,04	84,96
	>2007	2,57	97,43	11,36	88,64
Madrid	<1981	24,11	75,89	27,58	72,42
	1981-2007	3,88	96,12	9,49	90,51
	>2007	5,23	94,77	14,28	85,72
Sevilla	<1981	82,36	17,64	15,34	84,66
	1981-2007	59,42	40,58	16,91	83,09
	>2007	54,60	45,40	19,84	80,16

Tabla 9: Porcentaje de superficie acondicionada en edificios de 4 plantas según ubicación y año de construcción del edificio

Localidad	Año	8 Plantas (%)			
		Sin acondicionar	Acondicionado	Colectiva	Individual
Burgos	<1981	1,69	98,31	50,82	49,18
	1981-2007	0,87	99,13	43,32	56,68
	>2007	0,00	100,00	35,29	64,71
Madrid	<1981	7,83	92,17	61,26	38,74
	1981-2007	23,92	76,08	1,50	98,50
	>2007	3,66	96,34	21,12	78,88
Sevilla	<1981	74,04	25,96	23,37	76,63
	1981-2007	65,22	34,78	15,74	84,26
	>2007	54,23	45,77	40,58	59,42

Tabla 10: Porcentaje de superficie acondicionada en edificios de 8 plantas según ubicación y año de construcción del edificio

De la información obtenida se deduce que en los edificios de 4 plantas prevalecen de forma significativa los sistemas de calefacción individual, independientemente de su ubicación y año de construcción. En cambio, en los edificios de 8 plantas ubicados en Burgos y Madrid, el porcentaje de sistemas individuales frente a colectivos no presenta diferencias tan acusadas. En Madrid se percibe una transición en la que los sistemas predominantes pasan de ser centralizados a individuales.

A partir de 2007 se produce un incremento de la presencia de sistemas centralizados. En Sevilla se percibe una tendencia similar pero siempre prevaleciendo los sistemas individuales sobre los colectivos. Los sistemas centralizados presentan mejores rendimientos estacionales que los sistemas individuales, que suelen ser calderas mixtas para producción de ACS y calefacción instantáneas.

Para este estudio se han considerado sistemas individuales para todos los edificios excepto para los edificios plurifamiliares de 8 plantas construidos antes de 1981 en Burgos y en Madrid para los cuales se estudiarán los dos tipos de sistemas.

Los sistemas de referencia que se utilizan en el estudio serán los siguientes:

- **Sistema de referencia para caso residencial:** se utilizan calderas mixtas individuales para calefacción y ACS de gas natural. En viviendas unifamiliares en Sevilla el sistema de referencia será eléctrico, en esta localidad para construcciones posteriores a 2013 se considerarán calderas mixtas de gas natural. Para construcciones anteriores al año 1981 en Burgos y Madrid, se considerarán adicionalmente calderas centralizadas de gasóleo.
- **Sistema de referencia para caso oficina:** se utiliza un sistema centralizado conjunto de producción de calefacción y refrigeración con bomba de calor eléctrica. Para ACS se utilizan termos eléctricos.
- **Sistema de referencia para caso hospital:** se utilizan sistemas diferenciados para cada demanda (ACS, calefacción y refrigeración). El consumo de ACS y calefacción se abastecerá mediante calderas de gas natural y para refrigeración se hará mediante enfriadora eléctrica.
- **Sistema de referencia para caso centro comercial:** se utiliza un sistema centralizado de producción de calefacción y refrigeración, con bomba de calor eléctrica. Para ACS se utiliza un sistema de referencia de termos eléctricos.
- **Sistema de referencia para caso polideportivo:** se utilizan sistemas diferenciados para las demandas de ACS y refrigeración, y un sistema único para la calefacción y climatización de piscina. Los consumos de ACS y calefacción-piscina se abastecerán mediante calderas de gas natural y para refrigeración se hará mediante una enfriadora eléctrica. En construcciones anteriores a 2007, se considerarán también sistemas de producción de ACS y calefacción-piscina mediante calderas de gasóleo.
- **Sistema de referencia para caso hotel:** se utilizan sistemas diferenciados para ACS, calefacción y refrigeración. Los consumos de ACS y calefacción se abastecerán mediante calderas de gas natural y para refrigeración se hará mediante una enfriadora eléctrica.

Para caracterizar los equipos del sistema de referencia se tendrán en cuenta los datos que el CE3X nos proporciona por defecto salvo algunas excepciones. Para instalaciones de ACS siempre se tendrá en cuenta la existencia de un acumulador, este acumulador será caracterizado por el coeficiente global de pérdidas del depósito de acumulación cuyo valor será de 12 W/K para construcciones anteriores 2007 y de 9 W/K para las construcciones posteriores.

La selección del aislamiento de las calderas dependerá del año de construcción del edificio:

- Construcciones anteriores a 1981: caldera antigua con mal aislamiento
- Construcciones 1981-2006: caldera antigua con aislamiento medio
- Construcciones posteriores a 2006: caldera bien aislada y mantenida

El rendimiento de combustión de la caldera seleccionado será el que el programa CE3X proporciona por defecto, exceptuando aquellas construcciones posteriores a 2013 donde el rendimiento de combustión será del 98%.

Las fuentes de energía utilizadas para calefacción en el parque edificatorio (sector residencial) son las que se muestran en el siguiente gráfico:

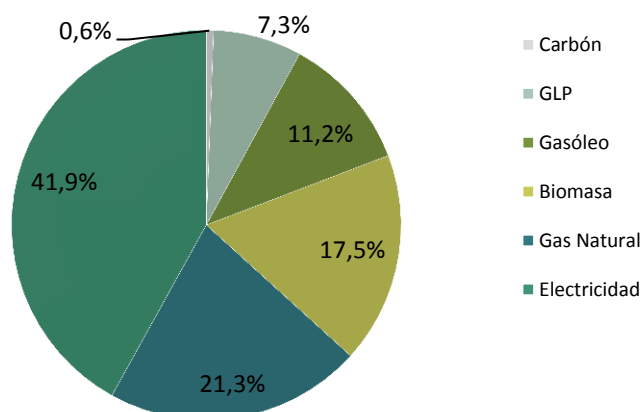


Figura 9: Fuente de energía utilizada para calefacción en edificación - Informes y estudios sector residencial IDAE (Fuente IDAE)

En el siguiente gráfico se muestran las fuentes de energía más utilizadas para calefacción en el sector residencial por zonas climáticas, Burgos correspondería a la zona atlántica, Madrid a la zona continental y por último, Sevilla a la zona mediterránea.

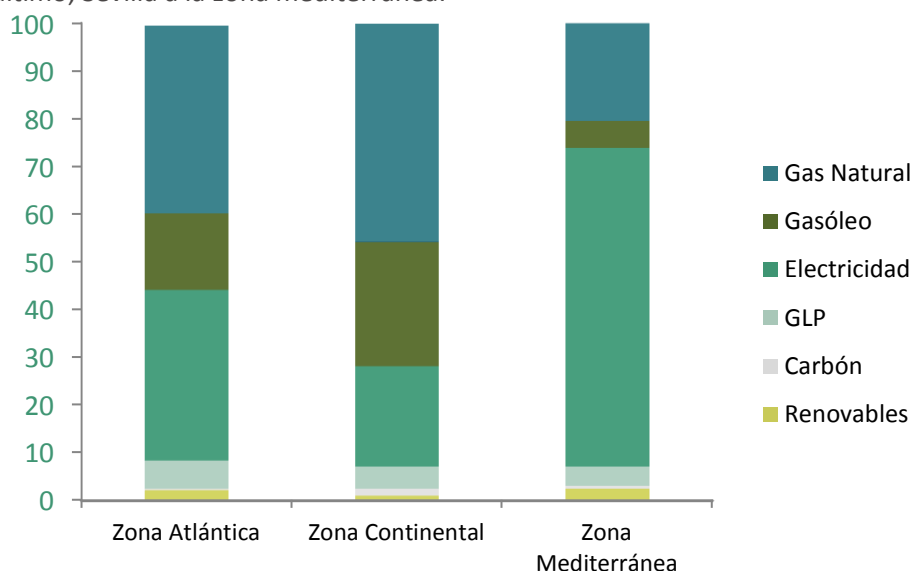


Figura 10: Fuente de energía utilizada en edificación por zona climática (Fuente IDAE)⁶

6

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_documentacion_basica_residencial_unido_c93da537.pdf

Según se aprecia en las gráficas, los combustibles más utilizados para calefacción son el gas natural y la electricidad siendo más utilizada la electricidad que el gas natural en el caso de Andalucía. Para refrigeración, la fuente de energía utilizada a considerar va a ser siempre la electricidad.

Adicionalmente, para los casos de estudio de aquellas edificaciones cuyo periodo constructivo se encuentre bajo el ámbito de aplicación del Código Técnico de la Edificación se ha tenido en cuenta que los edificios dispondrán de las instalaciones solares térmicas para abastecer parte de la demanda de ACS, según lo establecido en la sección HE4.

Los edificios construidos entre 2007 y 2014 dispondrán de las instalaciones solares térmicas que cumplirán con la contribución solar mínima establecida en la sección HE4 del CTE de 2006 en función de su ubicación y demanda y que se indica en las siguientes tablas:

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
>20.000	52	70	70	70	70

Tabla 11: Contribución solar mínima para ACS. Caso general (Fuente: CTE 2006)

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-1.000	50	60	70	70	70
1.000-2.000	50	63	70	70	70
2.000-3.000	50	66	70	70	70
3.000-4.000	51	69	70	70	70
4.000-5.000	58	70	70	70	70
5.000-6.000	62	70	70	70	70
>6.000	70	70	70	70	70

Tabla 12: Contribución solar mínima para ACS. Caso Efecto Joule. (Fuente: CTE 2006)

	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscinas cubiertas	30	30	50	60	70

Tabla 13: Contribución solar mínima para climatización de piscinas (Fuente: CTE 2006)

Los edificios construidos con posterioridad a 2014 y edificios de nueva construcción dispondrán de las instalaciones solares térmicas que cumplan con lo establecido en la Orden FOM 1635/2013. La contribución solar mínima a alcanzar en estos casos es la que se muestra en las siguientes tablas:

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	40	50	60
5.000-10.000	30	40	50	60	70
>10.000	30	50	60	70	70

	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
Piscinas cubiertas	30	30	50	60	70

Tabla 14: Contribuciones solares mínimas para ACS y climatización de Piscina (Fuente: CTE 2013)

4.4. Demandas a abastecer por energía solar

La demanda abastecida más habitualmente por la energía solar térmica es el agua caliente sanitaria, ya que, como se vio anteriormente, esta se presenta normalmente de manera constante durante todo el año permitiendo que la energía solar pueda cubrir altos porcentajes de la energía demandada. No obstante, en función de la zona climática donde se ubique el edificio y del peso que las diferentes demandas térmicas del edificio tengan sobre el total de la demanda térmica, puede resultar más o menos interesante analizar la posibilidad de abastecer con energía solar también las demandas de calefacción y refrigeración del edificio.

En el marco de este estudio se plantea analizar para todas las tipologías edificatorias el efecto que sobre la calificación energética tendrá abastecer, por un lado, la demanda de ACS (y de climatización de piscina en su caso), y por otro, el efecto que tiene la incorporación de energía solar térmica si esta abastece también las demandas de calefacción y refrigeración del edificio.

4.5. Descripción de las instalaciones solares térmicas a utilizar

El dimensionado de las instalaciones solares térmicas y la contribución solar aportada a las diferentes demandas se obtiene mediante la utilización de los programas CHEQ4.2 y TRANSOL.

El sistema solar térmico que se utilizará en este estudio empleará captadores solares térmicos planos. La selección del captador a utilizar se ha llevado a cabo a partir de la base de datos de captadores solares planos existentes hasta la fecha dentro del programa CHEQ4.2.

Del total de registros de la base se han excluido aquellos captadores que cumplieran las siguientes condiciones:

- Captadores con un área de apertura $< 1,5 \text{ m}^2$ y $> 4 \text{ m}^2$
- Captadores con coeficiente de pérdidas $a_1 < 2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y $> 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Una vez aplicadas las condiciones mencionadas se obtienen las características promedio de los captadores resultantes. Los datos promedio son los siguientes: $A=2,17$, $a_1=3,8$ y $\eta_0=0,77$. A estos se les ha aplicado nuevas condiciones que reducen todavía más las posibilidades:

- Captadores con coeficiente de pérdidas $a_1 < 3,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ y $> 3,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Captadores con rendimiento óptico $\eta < 0,78$ o $< 0,76$

Una vez aplicadas estas dos condiciones se comprueba qué captadores existentes en el CHEQ4.2 coinciden con las características establecidas y se selecciona uno.

Las especificaciones técnicas del captador utilizado en las simulaciones se muestran a continuación:

- Dimensiones captador: $1,962 \times 1,207 \times 0,089 \text{ m}$
- Área útil de apertura: $2,18 \text{ m}^2$
- Rendimiento óptico (η_0): $0,773$
- Coeficiente lineal de pérdidas (a_1): $3,743 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Coeficiente cuadrático de pérdidas (a_2): $0,021 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Modificador del ángulo de incidencia (IAM): $0,93$
- Caudal test (Q_t): $72 \text{ l/h} \cdot \text{m}^2$

La contribución solar obtenida por las instalaciones para producción de ACS se obtendrá mediante el programa de validación CHEQ4.2. La contribución solar a las demandas de Calefacción y Refrigeración se obtendrá mediante el programa de simulación TRANSOL.

La configuración de las instalaciones solares térmicas a utilizar dependerá de la tipología edificatoria y de las aplicaciones abastecidas. Todas serán instalaciones por elementos donde los captadores se conectarán entre sí en paralelo.

Las configuraciones utilizadas para satisfacer las demandas ACS en las simulaciones son las siguientes:

- Vivienda Unifamiliar: Instalación con interacumulador.
- Vivienda Plurifamiliar: Instalación con todo centralizado o con apoyo distribuido.
- Edificios Terciarios: Instalación centralizada con intercambiador independiente, y con aporte a piscina en su caso.

La configuración utilizada para simular las instalaciones solares que deben abastecer las demandas térmicas de calefacción y refrigeración, además de la de ACS, corresponde al único esquema que se encuentra disponible para tal efecto en el programa TRANSOL.

Respecto al resto de parámetros a tener en cuenta en las simulaciones se tendrá en cuenta que la inclinación de las placas será de 40º, excepto en Canarias donde se inclinarán a 30º. El volumen de acumulación para ACS se determinará para cada caso simulado de manera que se aproxime lo máximo posible a la demanda de ACS y su valor se encuentre siempre entre los 50 y 180 l/m2. La demanda no satisfecha por la instalación solar vendrá cubierta por los sistemas de referencia que se han descrito anteriormente.

4.6 Determinación de la calificación energética mediante CE3X

Con el objetivo de determinar cómo afecta la energía solar térmica al cálculo de la calificación energética de los edificios, objetivo del presente estudio, se ha llevado a cabo la implementación de los edificios definidos en el apartado 4.1 “*Tipologías edificatorias*” en la herramienta informática CE3X. Se determinará mediante este programa la Calificación Energética antes y después de la incorporación de la energía solar térmica en todos los casos de estudio.

Esta herramienta informática califica el edificio en base a determinados indicadores, los dos principales son el “*Consumo de Energía Primaria no Renovable*” y las “*Emisiones Globales de CO₂*”. La calificación en base a dichos indicadores se muestra en una escala que dispone de siete letras que van desde la letra A (edificio más eficiente) a la letra G (edificio menos eficiente).

Existen además otros indicadores de eficiencia energética como la demanda de calefacción, refrigeración, emisiones correspondientes a las diferentes demandas, etc. que permiten explicar las razones de un buen o mal comportamiento energético del edificio y proporcionan información útil sobre los aspectos a tener en cuenta a la hora de proponer recomendaciones que mejoren dicho comportamiento.

Los dos indicadores principales mencionados anteriormente representan el impacto de los servicios de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación en edificios no residenciales. Los indicadores complementarios de eficiencia energética son:

- La demanda energética anual de calefacción
- La demanda energética anual de refrigeración
- El consumo anual de energía primaria no renovable de cada servicio
- Las emisiones anuales de CO₂ de cada servicio
- Las emisiones anuales de CO₂ por consumo eléctrico y por otros combustibles.

El programa CE3X compara el edificio objeto de la certificación con una base de datos elaborada para cada una de las ciudades representativas de las diferentes zonas climáticas a partir de los resultados obtenidos de un gran número de simulaciones realizadas con CALENER. Una vez el usuario introduce los datos del edificio objeto, el programa lo compara con las características de los casos recogidos en la base de datos. El programa obtiene las demandas de calefacción y refrigeración del edificio objeto interpolando sobre los valores de las demandas de los edificios de la base de datos que sean más similares.

A continuación se muestra la estructura del procedimiento de certificación del CE3X:
(Fuente: manual de usuario CE3X)

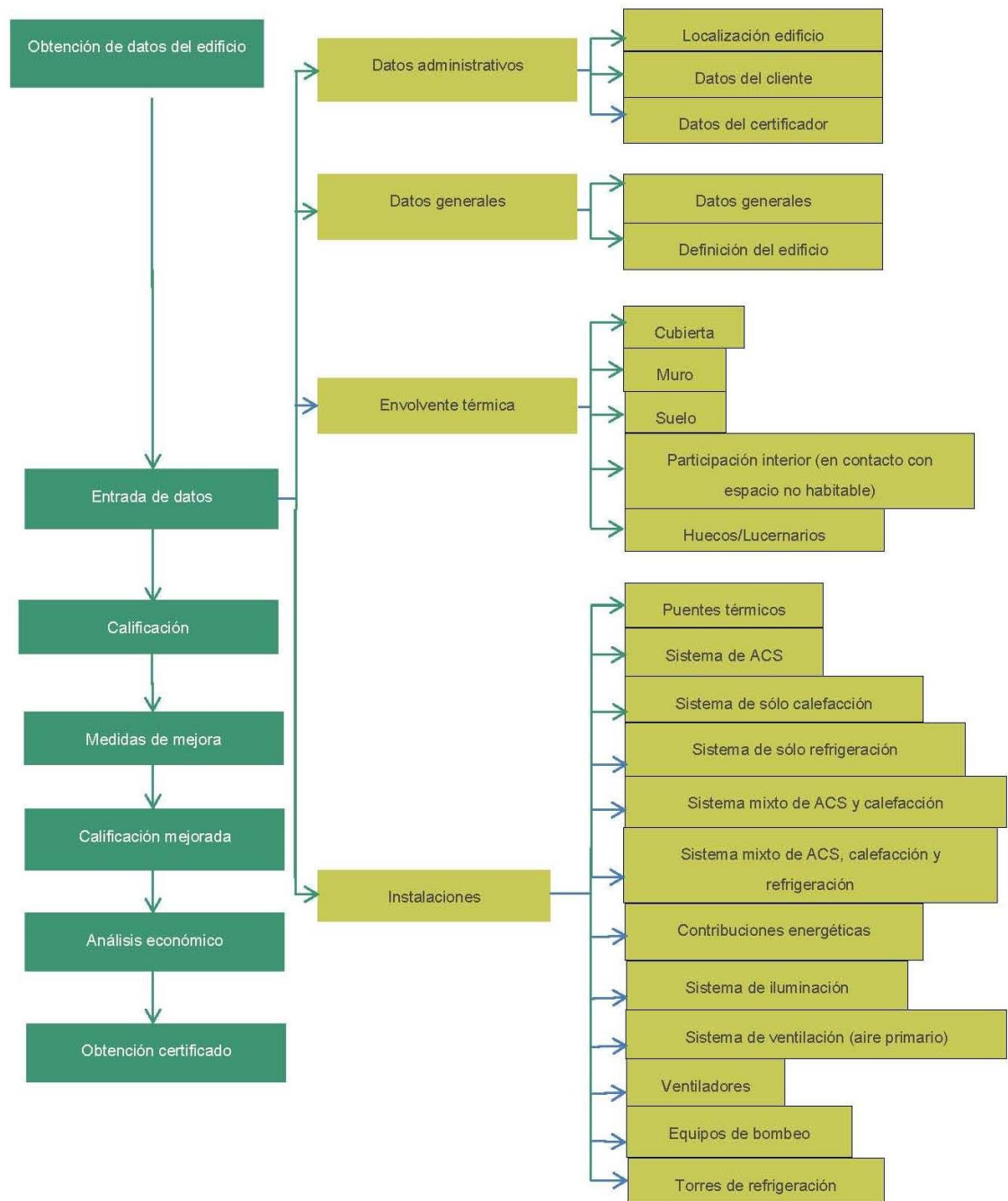


Figura 11: Estructura del procedimiento de certificación CE3X

El programa tiene en cuenta en cada caso, según el tipo de instalación y combustible empleado, los siguientes factores de paso a energía primaria no renovable y a emisiones de CO₂:

Combustible	Factores de conversión	
	kWh E. primaria no renovable/kWh E. final	Kg CO ₂ /kWh E. final
Electricidad peninsular	1.954	0.331
Electricidad extrapeninsular	2.937	0.833
Gas natural	1.190	0.252
Gasóleo-C	1.179	0.311
GLP	1.201	0.254
Carbón	1.082	0.472
Biomasa no densificada	0.034	0.018
Biomasa densificada (pellets)	0.085	0.018

Tabla 15: Factores de conversión de energía final a primaria y factores de emisión de CO₂ (Fuente: manual de usuario CE3X)

4.7 Determinación de la contribución solar para producción de ACS y climatización de piscina mediante CHEQ4

Como se ha explicado con anterioridad, en una primera fase se analiza el efecto que sobre la certificación energética del edificio tiene la incorporación de energía solar térmica para producción de ACS y climatización de piscina en aquellos edificios en los que su instalación no fuera exigible por la aplicación del DB HE4, es decir, aquellos edificios construidos antes del año 2007. La contribución solar objetivo en los casos en los que no es obligatoria será la establecida en la modificación de la sección HE4 mencionada realizada en 2014.

Con el fin de determinar, de la forma lo más realista posible, el dimensionado de la instalación solar y la fracción solar a introducir en el programa CE3X que se aproxime lo mejor posible a la cobertura objetivo establecida en la sección HE4, se ha empleado el programa informático de validación CHEQ4.2. Éste, además, ha servido para calcular la energía necesaria correspondiente a la demanda de ACS y de climatización de piscina en cada caso.

4.8 Determinación de la contribución solar para producción de ACS, calefacción y refrigeración mediante programa Transol

Se ha seleccionado el programa de simulación dinámica de instalaciones de energía solar térmica TRANSOL, basado en TRNSYS, para dimensionar las instalaciones solares que abastecerán las demandas de ACS, calefacción y refrigeración y determinar las diferentes fracciones solares proporcionadas a cada demanda. TRANSOL dispone de una configuración hidráulica predeterminada que contempla instalaciones solares para producción de ACS, Calefacción y Refrigeración y que además permite implementar los edificios objeto de estudio introduciendo la ubicación, orientación, materiales, etc. Es decir, que es necesario definir en TRANSOL las características constructivas del edificio de manera que éstas coincidan de la mejor manera posible con las demandas de ACS, calefacción y refrigeración obtenidas en el CE3X.

Una vez implementado el edificio en TRANSOL, se ejecuta la simulación y se obtienen las fracciones solares por aplicación térmica, que serán los datos que deberán introducirse dentro del apartado de *“Contribuciones energéticas”* de la sección *“Instalaciones”* del programa CE3X.

5 Simulación

En este apartado se describen con detalle las consideraciones tenidas en cuenta y los parámetros a introducir en los diferentes programas utilizados (CE3X, TRANSOL y CHEQ4.2). Los casos que se han analizado en este estudio ascienden a 168. Como se ha visto anteriormente, este número de casos, es el resultado de combinar los 9 tipos de edificio considerados con 4 periodos constructivos y con 4 zonas climáticas diferentes. Adicionalmente, al resultado de estas combinaciones se han añadido casos adicionales donde se han considerado sistemas de producción de ACS, calefacción y refrigeración alternativos a los considerados por defecto.

La secuencia de simulación seguida obtiene en primer lugar las Calificaciones Energéticas de los Edificios caso de estudio. Posteriormente, se simulan las instalaciones solares térmicas de forma separada para satisfacer las demandas de ACS y/o piscina con CHEQ4 y después aquellas que deben satisfacer las demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración con TRANSOL. Una vez obtenidas las fracciones solares sobre cada demanda térmica, éstas se implementan en el apartado correspondiente a “*Contribuciones energéticas*” de la sección de “*Instalaciones*” del programa CE3X y se obtiene de nuevo la calificación energética correspondiente a los edificios después de la incorporación de la energía solar para ambos casos, cuando solo se abastece la demanda de ACS y cuando se abastecen todas las demandas térmicas.

5.1 Simulación mediante CE3X

Para poder obtener la calificación energética de los edificios considerados en el estudio es necesario definir sus características en el programa de certificación CE3X. En este capítulo se determinarán los diferentes parámetros a tener en cuenta para proceder a su simulación.

The screenshot shows the CE3X software interface with the following data entered:

- Datos generales:**
 - Normativa vigente: Anterior
 - Año construcción: 1975
 - Tipo de edificio: Bloque de Viviendas
 - Provincia/Ciudad autónoma: Madrid
 - Localidad: Madrid
 - Zona climática: D3
- Definición edificio:**
 - Superficie útil habitable: 3680 m²
 - Altura libre de planta: 3 m
 - Número de plantas habitables: 4
 - Ventilación del inmueble: 0.63 m³/h
 - Demanda diaria de ACS: 3012.8 l/día
 - Piso de las particiones internas: Media
 - ☐ Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Buttons at the bottom: 'Imagen edificio' and 'Plano situación'.

Figura 12: Datos generales del edificio - CE3X (Fuente: Programa CE3X)

El programa solicita una serie de entrada de datos administrativos y generales. Dentro de los datos generales es necesario introducir la normativa vigente de edificación (CTE 2013, CTE 2006, NBE-CT-79 o anterior), el año de construcción y la localización. También es necesario introducir algunos otros parámetros como la superficie útil habitable, la altura libre de planta, ventilación, demanda diaria de ACS y masa de las particiones internas cuyos valores a considerar se analizarán más adelante.

En el caso de los edificios terciarios es necesario definir el perfil de uso de cada edificio. Para hacerlo, es necesario establecer la intensidad de uso del edificio, que puede ser baja, media y alta, y las horas diarias de funcionamiento del mismo, que pueden ser 8, 12, 16 o 24 horas.

Para las tipologías edificatorias descritas se tendrán en cuenta los siguientes perfiles de uso:

Tipología de edificio	Intensidad de uso	Horas diarias de funcionamiento
Terciario oficinas	Alta	8h
Terciario hospitales	Media	24h
Terciario centros comerciales	Media	16h
Terciario polideportivos	Alta	12h
Terciario hoteles	Baja	24h

Tabla 16: Intensidad de uso edificios terciario (Fuente: Programa CE3X)

5.1.1 Características de los cerramientos

Las características de los cerramientos y puentes térmicos de los edificios a simular serán aquellas que están definidas por defecto en el programa CE3X y que a su vez dependerán del año de construcción, excepto, en el caso de los edificios afectados por la modificación de la sección HE del CTE establecida en la Orden FOM 1635/2013 donde las características serán definidas de forma particular para cada edificio.

El porcentaje de cerramientos transparentes a considerar varía según la tipología del edificio. Se considerará un 30% para cada una de las fachadas en los edificios residenciales y un 60% para cada una de las fachadas de los edificios terciarios, excepto en el caso de hospitales donde se considerará un 40%.

Las propiedades térmicas consideradas en los cerramientos utilizados en las simulaciones, tanto opacos como transparentes, serán aquellas que el programa CE3X da por defecto, salvo algunas excepciones. La transmitancia térmica por defecto de estos cerramientos variará dependiendo de la zona climática donde se encuentre ubicado el edificio, del año de construcción y de la normativa que sea de aplicación a este.

Los datos básicos para el cálculo de la envolvente térmica de los edificios son los siguientes:

1. Cubierta en contacto con el aire

- Propiedades térmicas: Por defecto
- Clase de cubierta: Cubierta plana

2. Muro de fachada

- Propiedades térmicas: Por defecto

3. Suelo en contacto con el terreno

- Propiedades térmicas: Por defecto
- Profundidad: Menor o igual a 0,5m

4. Hueco

- Porcentaje de marco: 20%
- Permeabilidad del hueco:
 - <2007: Poco estanco
 - 2007-2013: Estanco
 - >2013: $25 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$
- Absortividad del marco: 0,75
- Patrón de sombras: Sin patrón
- Tipo de vidrio:
 - ≤2013: propiedades térmicas estimadas, vidrio doble
 - >2013: propiedades térmicas estimadas vidrio doble, excepto para edificios residenciales donde se tomaran las siguientes propiedades térmicas conocidas, $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $g=0,61$

Para construcciones realizadas en años posteriores a 2006 se instalarán ventanas dobles.

- Tipo de marco:
 - <2007: propiedades térmicas estimadas, marco metálico sin RPT
 - 2007-2013: propiedades térmicas estimadas, marco metálico con RPT
 - >2013: propiedades térmicas estimadas, marco de PVC, excepto para edificios residenciales donde se tomaran las siguientes propiedades térmicas conocidas, $U=1,58 \text{ W/m}^2\text{K}$

5. Puentes térmicos

- Se seleccionará la opción de que el programa CE3X los defina por defecto.
- En el caso de los edificios residenciales construidos con posterioridad a 2013 se introducirán los siguientes valores para los puentes térmicos:
 - Pilar integrado fachada: $0,6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Pilar en esquina: $0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Encuentro fachada-forjado: $0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Hueco-Hueco: $0,17 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Caja persiana: $0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Cubierta: $0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 - Suelo: $0,14 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Se considera que los edificios se encuentran aislados, sin otros edificios contiguos, exceptuando el caso de edificios unifamiliares donde se considerará que existen edificios colindantes en la orientación este y oeste, y sin existencia de elementos que les proporcionen sombras.

Con las características descritas anteriormente, según varíe la normativa aplicable a los edificios y según la zona climática donde se encuentren, se obtienen los siguientes resultados para las transmitancias térmicas ($\text{W/m}^2\text{K}$):

	NORMATIVA APLICABLE	Cubierta	Muro	Suelo
ZONA CLIMÁTICA B4. SEVILLA	Antes de 1981	2,17	2,38	1,0
	NBE-CT-79	1,4	1,8	1,0
	CTE 2006	0,45	0,82	0,82
	CTE 2013	0,33	0,38	0,38
ZONA CLIMÁTICA D3. MADRID	Antes de 1981	2,17	2,38	1,0
	NBE-CT-79	0,9	1,4	1,0
	CTE 2006	0,38	0,66	0,66
	CTE 2013	0,22	0,27	0,27
ZONA CLIMÁTICA E1. BURGOS	Antes de 1981	2,17	2,38	1,0
	NBE-CT-79	0,7	1,4	1,0
	CTE 2006	0,35	0,57	0,57
	CTE 2013	0,19	0,25	0,25
ZONA CLIMÁTICA α3. LAS PALMAS DE GRAN CANARIA	Antes de 1981	2,17	2,38	1,0
	NBE-CT-79	1,4	1,8	1,0
	CTE 2006	0,5	0,94	0,94
	CTE 2013	0,5	0,94	0,94

Tabla 17: Transmitancia térmica para cada zona climática considerada (W/m²K)

Respecto a la masa de las particiones, se tendrá en cuenta un valor medio correspondiente a una masa entre 200 y 500 kg/m², excepto para las construcciones posteriores a 2013 donde se tendrá en cuenta un valor pesado superior a 500 kg/m².

5.1.2 Ventilación

Para la ventilación de los edificios residenciales se tomará el valor de 0,63 ren/h que el programa CE3X da por defecto, excepto para los edificios residenciales unifamiliar y plurifamiliar de 4 plantas construidos con posterioridad a 2013 en los que se ha seleccionado un valor de 0,4 ren/h. Para los edificios terciarios se tomará un valor de 0,8 ren/h.

En los edificios terciarios hay que definir los equipos de aire primario del sistema de ventilación. Es necesario determinar el caudal de aire de ventilación, necesario por razones de salubridad, a introducir en el interior del edificio de forma forzada especificando la existencia o no de sistemas recuperación de calor con su eficiencia asociada.

El cálculo del caudal de ventilación, se determina conforme a lo establecido en la IT 1.1.4.2 “Exigencia de calidad del aire interior” del RITE (RD 1027/2007). Según el RITE, en instalaciones de ventilación con caudal de aire exterior mayor de 1.800 m³/h deberá instalarse un recuperador de energía, cuyo rendimiento se determina en la IT 1.2.4.5.2. “Recuperación de calor del aire de extracción” de dicho RD.

Para el cálculo del caudal de ventilación se ha supuesto que una única Unidad de Tratamiento de Aire (UTA) abastece a todo el edificio, ya que no se han considerado particiones interiores en el edificio y no es posible diferenciar las zonas que requieren ventilación de las que no la requieren.

Tipo edificación	Caudal de ventilación (m ³ /h)	Rendimiento recuperadora (%)
Terciario oficinas 4 plantas	7.200	47
Terciario oficinas 8 plantas	28.215	58
Terciario hospitales	16.128	60
Terciario centros comerciales	387.158	70
Terciario polideportivos	20.700	60
Terciario hoteles	12.211	60

Tabla 18: Caudal de ventilación y rendimiento de recuperación por tipología edificatoria

5.1.3 Iluminación

En los edificios terciarios hay que definir los equipos de iluminación cuyas características se considerarán como “*Estimadas*”. Será necesario, por tanto, indicar el uso al que está destinado el edificio, el tipo de luminaria utilizada y el valor de iluminancia media requerida.

El tipo de iluminación seleccionada para todos los edificios terciarios, para cualquier año de construcción, es fluorescencia lineal de 26 mm, exceptuando los edificios construidos posteriores a 2013 en los que se considera una luminaria tipo LED Spot. Los valores de iluminancia media requeridos a utilizar serán los siguientes:

Tipo edificación	Iluminancia media requerida (lux)
Terciario oficinas	500
Terciario hospitales	100
Terciario centros comerciales	300
Terciario polideportivos	700
Terciario hoteles	100

Tabla 19: Iluminancia media por tipología edificatoria

5.1.4 Demanda de ACS

La demanda de ACS se ha calculado teniendo en cuenta el consumo de agua diario por persona establecido en la sección HE4 el CTE.

A continuación se muestra la tabla de demandas de ACS por persona según tipología de edificio extraída del CTE 2013 (demanda de referencia a 60 °C).

Criterio de demanda	Litros/día unidad	Unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábrica y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Tabla 20: Consumo de ACS (l/día) por persona (Fuente CTE HE4 2013)

En el uso residencial privado se determinará la ocupación en función del número de dormitorios de las viviendas que formen parte del edificio, conforme a lo establecido en la sección HE4 del CTE.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Tabla 21: Ocupación por m² en función de la actividad (Fuente CTE SI 2013)

En los edificios de viviendas multifamiliares se debe emplear, conforme determina el DB-HE4, un factor de centralización cuyo valor es función del número de viviendas del edificio y que disminuirá la demanda diaria de agua caliente sanitaria total obtenida conforme aumente el número de viviendas que componga el edificio.

Nº viviendas	N≤3	4≤N≤10	11≤N≤20	21≤N≤50	51≤N≤75	76≤N≤100	N≥101
Factor de centralización	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70

Tabla 22: Ocupación en edificios residenciales (Fuente CTE HE4 2013)

El cálculo de la ocupación del resto de edificios no residenciales se ha realizado según las densidades de ocupación que indica el CTE en su Documento Básico de Seguridad en caso de incendio DB-SI, teniendo en cuenta la tipología y el tipo de actividad del edificio. A continuación se muestra una tabla con los valores de densidad de ocupación extraídos del DB-SI para las tipologías de edificios que se han definido para la realización de este estudio:

Tipología de edificio	Zona, tipo de actividad	Ocupación (m ² /persona)
Terciario oficinas	Plantas o zonas de oficinas	10
Terciario hospitales	Zonas destinadas a tratamiento a pacientes internados	20
Terciario centros comerciales	Establecimientos comerciales: áreas de ventas	3
Terciario polideportivos	Zonas de público en gimnasios: con aparatos	5
Terciario hoteles	Zonas de alojamiento	20

Tabla 23: Factor de centralización (Fuente CTE SI 2013)

Aplicando los criterios establecidos anteriormente se determina la demanda ACS diaria de cada tipología edificatoria. En el caso de edificios unifamiliares se ha considerado que las viviendas disponen de 4 dormitorios. En el caso de viviendas plurifamiliares se considera que las viviendas disponen de 3 dormitorios y que hay 4 viviendas por planta.

Tipología de edificio	Demanda ACS (l/d)
Residencial unifamiliar	112
Residencial plurifamiliar 4 plantas	1.613
Residencial plurifamiliar 8 plantas	3.046
Oficinas 4 plantas	320
Oficinas 8 plantas	1.254
Hospitales	12.320
Centro comercial	400
Polideportivo	9.660+piscina
Hotel ****	23.320

Tabla 24: Demanda ACS edificios

5.1.5 Demanda de piscinas

El programa de calificación CE3X no incorpora la posibilidad de considerar la demanda energética correspondiente a la climatización de piscinas. En los polideportivos, donde se ha considerado la existencia de piscinas, la demanda energética correspondiente a esta se ha incorporado en el programa como una demanda de ACS equivalente que suponga la misma energía demandada.

La demanda de ACS total a introducir en esos casos será la suma de la demanda de ACS del edificio más la demanda de ACS equivalente a la demanda energética de la piscina. Para el cálculo de la demanda de piscina se considera una piscina semi-olímpica con unas dimensiones de 12,5x25 metros y con una profundidad media de 2 metros. La demanda combinada de ACS y piscina dependerá de la localidad y ha sido calculada con el programa CHEQ4.2:

Localidad	Demanda (kWh/año)	Demanda equivalente combinada ACS + Piscina (l/d)
Burgos	590.068	28.461
Madrid	550.003	27.877
Sevilla	515.764	27.666
Las Palmas de GC	494.228	27.497

Tabla 25: Demanda energética conjunta de ACS y piscina

5.1.6 Contribuciones energéticas renovables

Para los casos de estudio de edificaciones de construcción posterior a 2007, afectados por el CTE de 2006, se tendrá en cuenta lo establecido en el DB-HE4, es decir, que se considerará una contribución mínima de energía solar térmica en función de la zona climática y de la demanda de ACS y piscina.

Hay que tener en cuenta que esta contribución variará en función del año de construcción del edificio, ya que la normativa sufrió una modificación en 2013. Las contribuciones solares mínimas a considerar en cada caso se muestran en la siguiente tabla:

Contribución solar mínima edificios construidos entre 2007 y 2014		
Zona climática	Tipología de edificio	Contribución mínima ACS (%)
II	Residencial unifamiliar	30
	Residencial plurifamiliar 4 plantas	30
	Residencial plurifamiliar 8 plantas	30
	Oficinas 4 plantas	30
	Oficinas 8 plantas	30
	Hospitales 7 plantas	70
	Centro comercial	30
	Polideportivo	70
	Hotel ****	70
IV	Residencial unifamiliar	60
	Residencial plurifamiliar 4 plantas	60
	Residencial plurifamiliar 8 plantas	60
	Oficinas 4 plantas	60
	Oficinas 8 plantas	60
	Hospitales 7 plantas	70
	Centro comercial	60
	Polideportivo	70
	Hotel ****	70
V	Residencial unifamiliar	70
	Residencial plurifamiliar 4 plantas	70
	Residencial plurifamiliar 8 plantas	70
	Oficinas 4 plantas	70
	Oficinas 8 plantas	70
	Hospitales 7 plantas	70
	Centro comercial	70
	Polideportivo	70
	Hotel ****	70

Tabla 26: Contribución solar mínima CTE 2006 (Fuente CTE HE4 2006)

Contribución solar mínima edificios construidos posteriormente a 2014		
Zona climática	Tipología de edificio	Contribución mínima ACS (%)
III	Residencial unifamiliar	40
	Residencial plurifamiliar 4 plantas	40
	Residencial plurifamiliar 8 plantas	40
	Oficinas 4 plantas	40
	Oficinas 8 plantas	40
	Hospitales 7 plantas	60
	Centro comercial	40
	Polideportivo	60
	Hotel ****	60
IV	Residencial unifamiliar	50
	Residencial plurifamiliar 4 plantas	50
	Residencial plurifamiliar 8 plantas	50
	Oficinas 4 plantas	50
	Oficinas 8 plantas	50
	Hospitales 7 plantas	70
	Centro comercial	50
	Polideportivo	70
	Hotel ****	70
V	Residencial unifamiliar	60
	Residencial plurifamiliar 4 plantas	60
	Residencial plurifamiliar 8 plantas	60
	Oficinas 4 plantas	60
	Oficinas 8 plantas	60
	Hospitales 7 plantas	70
	Centro comercial	60
	Polideportivo	70
	Hotel ****	70

Tabla 27: Contribución solar mínima CTE 2013 (Fuente CTE HE4 2013)

Adicionalmente, para los edificios del sector terciario con una superficie determinada, construidos posteriormente a 2007 se tendrá en cuenta, según lo establecido en el CTE DB-HE5, una contribución mínima de energía eléctrica proporcionada por energía solar fotovoltaica.

Hay que tener en cuenta que esta contribución variará en función del año de construcción del edificio, ya que la normativa sufrió una modificación en 2013.

La siguiente tabla muestra la superficie mínima a partir de la cual es aplicable la sección DB-HE5:

Tipo de uso	Límite de aplicación
Hipermercado	5.000
Multitiendas y centros de ocio	3.000
Nave de almacenamiento	10.000
Administrativo	4.000
Hoteles y hostales	100 plazas
Hospitales y clínicas privadas	100 camas
Pabellones de recintos feriales	10.000

Tabla 28: Ámbito de aplicación (Fuente CTE HE5 2006)

La potencia nominal mínima de la instalación fotovoltaica se calculará para construcciones de edificios comprendidos en los años 2007-2014 mediante la siguiente fórmula:

$$P = C * (A * S + B)$$

Siendo S, la superficie construida del edificio en metros cuadrados.

Tipo de uso	A	B
Hipermercado	0,001875	-3,13
Multi-tienda y centros de ocio	0,004688	-7,81
Nave de almacenamiento	0,001406	-7,81
Administrativo	0,001223	1,36
Hoteles y hostales	0,003516	-7,81
Hospitales y clínicas privadas	0,000740	3,29
Pabellones de recintos feriales	0,001406	-7,81

Tabla 29: Coeficientes de uso (Fuente CTE HE5 2006)

Zona climática	C
I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,3
V	1,4

Tabla 30: Coeficiente climático (Fuente CTE HE5 2006)

A partir de 2013, el ámbito de aplicación afecta a los siguientes edificios:

Tipo de uso	Superficie construida
Hipermercado	5.000
Multi-tienda y centros de ocio	5.000
Nave de almacenamiento y distribución	5.000
Instalaciones deportivas cubiertas	5.000
Hospitales y clínicas privadas	5.000
Pabellones de recintos feriales	5.000

Tabla 31: Ámbito de aplicación (Fuente CTE HE5 2013)

La potencia nominal mínima a instalar se calculará mediante la siguiente fórmula para construcciones de edificios en años posteriores a 2014:

$$P = C * (0,002 * S - 5)$$

Para estimar la producción de la instalación fotovoltaica se considerarán los ratios de producción siguientes por zonas climáticas, en kWh/kW:

	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Horas equivalentes de referencia anuales (kWh/kW)	1.232	1.362	1.492	1.632	1.753

Tabla 32: Ratios de producción por zona climática (Fuente CTE HE5 2013)

Tipología edificatoria	Zona climática	Contribución fotovoltaica (kWh)	
		2007 2014	>2014
Hospital	III*	17.352	28.439
	IV	24.562	36.916
	V	28.416	42.703
Centro comercial	III*	272.359	123.652
	IV	384.532	160.512
	V	444.824	185.675
Polideportivo	III*	-	17.776
	IV	-	23.060
	V	-	26.692
Hotel ****	III*	83.913	-
	IV	118.826	-
	V	137.453	-
Oficina 8 plantas	III*	13.525	-
	IV	19.160	-
	V	22.163	-

* Caso de aplicación de CTE anterior a 2013, zona II

Tabla 33: Contribución fotovoltaica

5.1.7 Simulación de instalaciones solares térmicas

Una vez definidos completamente los edificios objeto en cuanto a características de la envolvente, instalaciones térmicas, iluminación, etc. se dimensionan las instalaciones solares para satisfacer las demandas de ACS y/o piscina en aquellos edificios en los que no era obligatoria su incorporación y las instalaciones necesarias para satisfacer la demanda de ACS, Piscina, calefacción y refrigeración en todos los casos de estudio.

En el caso de las instalaciones solares que satisfarán únicamente las demandas de ACS y/o piscina, se tomará como referencia a la hora de determinar la fracción solar objetivo a alcanzar, la contribución solar exigida en el CTE 2013. Para determinar las características de la instalación solar a incorporar en el edificio (número de captadores, volumen de acumulación, fracción solar obtenida, etc.) se emplea el programa de validación CHEQ4.

5.2 Implementación de Instalaciones solares para ACS y climatización en CHEQ4

En el estudio, se ha hecho uso de las dos versiones existentes del programa CHEQ4 para verificar el cumplimiento de la contribución solar mínima conforme a la sección HE4 aplicable a cada año de construcción considerado (CHEQ4.2 para el DB-HE4 2013 y CHEQ4.1 para DB-HE4 2006). Para determinar la contribución solar a alcanzar en los edificios construidos en los años en los que la contribución solar no era exigible, se ha utilizado el CHEQ4.2 y se ha buscado alcanzar la contribución solar para ACS establecida en la sección HE4 del CTE 2013.

El programa CHEQ4 precisa que se introduzcan una serie de datos correspondientes a la localización del edificio, configuración del sistema solar elegido, la demanda de agua caliente sanitaria, tipo y número de captadores, volumen de acumulación, descripción de los diferentes circuitos hidráulicos, sistema auxiliar de apoyo, etc.

En la primera pestaña del programa se introducen los datos correspondientes a la localización del edificio (provincia y municipio) y altura sobre el nivel del mar, en caso de que ésta difiera de la del municipio seleccionado. En nuestro caso de estudio, las localidades elegidas serán las capitales de provincia Burgos, Madrid, Sevilla y Las Palmas de Gran Canaria. Esta primera pestaña nos facilita los datos sobre radiación, temperatura de red, temperatura ambiente, zona climática y latitud de la localización introducida.

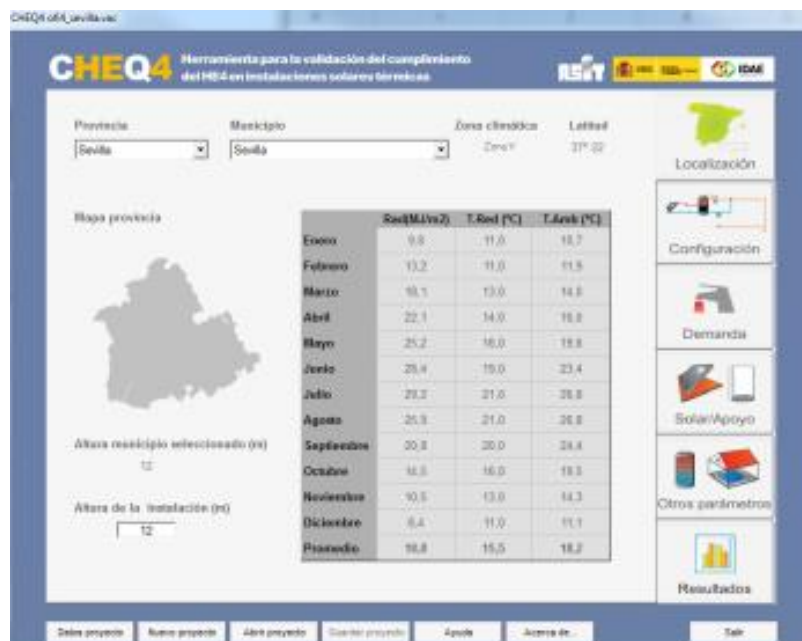


Figura 13: Pestaña de Localización programa CHEQ4 (Fuente CHEQ4).

La segunda pestaña corresponde a la configuración del sistema, donde es necesario elegir una de las configuraciones hidráulicas tipo existentes. Los sistemas seleccionados son:

- Vivienda unifamiliar: instalación con interacumulador.
- Vivienda plurifamiliar: instalación con todo centralizado o con apoyo distribuido.
- Sector Terciario: instalación con intercambiador independiente y piscina en Polideportivos.



Figura 14: Pestaña de configuración programa CHEQ4 (Fuente CHEQ4)

En la tercera pestaña se define la demanda de ACS y piscina. En esta ventana el programa muestra la contribución solar mínima exigida para ACS y para la climatización de piscina.

Figura 15: Pestaña de Demandas programa CHEQ4 (Fuente CHEQ4)

En la cuarta pestaña de la herramienta se comienza a definir la instalación solar. Se selecciona el captador determinado en el apartado 4.5. El programa, al seleccionar el captador, muestra sus resultados de rendimiento, área, etc. En la sección denominada “*Campo de captadores*” deberemos seleccionar las principales características del mismo: número de captadores total, captadores que se conectarán en serie (en nuestro caso todos los captadores estarán conectados en paralelo), pérdidas por sombras que han sido consideradas nulas, orientación sur 0°, y la inclinación de 40° para todos los casos, excepto en Las Palmas de Gran Canaria donde la inclinación será de 30°. A continuación deberemos introducir los datos correspondientes al circuito hidráulico primario y secundario. Por último, se introduce el sistema de apoyo y el combustible a utilizar (por ejemplo termo eléctrico, caldera convencional de gas natural, etc.), que se han determinado en el apartado 4.3 de la metodología.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

CAPTADORES

Empresa:
 Marca/Modelo:

AVISO: Verificar la existencia y vigencia de la certificación del captador seleccionado.

Datos de ensayo

Área (m ²)	2,18
a0 (-)	8,773
a1 (W/m ²)	3,743
a2 (W/m ²)	8,821
Gtest (W/m ²)	72
k50	8,93
Laboratorio	CENER
Certificación	

CAMPO DE CAPTADORES

Núm. captadores: Captadores en serie: Pérdidas sombras (%):
 Orientación (°): Inclinação (°): Área total captadores (m²): 43,68

CIRCUITO PRIMARIO / SECUNDARIO

Caudal prim.(l/h): Anticongelante (%): Long. circuito (m):
 Diám. tubería (mm): Esp. aislante (mm): Aislante:

SISTEMA DE APOYO

Tipo de sistema:
 Tipo de combustible:

Botones: Datos proyecto, Nuevo proyecto, Abrir proyecto, Guardar proyecto, Ayuda, Acerca de..., Salir

Figura 16: Descripción del sistema solar y de apoyo CHEQ4 (Fuente CHEQ4)

En la pestaña de “*Otros parámetros*” introduciremos el volumen de acumulación y las características del sistema de distribución. El volumen de acumulación considerado será el que mejor se adapte al consumo diario de ACS del edificio teniendo en cuenta que es necesario que la relación entre volumen de acumulación y superficie establecida en el DB HE4 debe encontrarse dentro del intervalo comprendido entre 50 y 180 l/m². En el caso de los polideportivos, donde hay piscinas, se han introducido los datos que figuran en el punto 5.1.5 “*Demanda de Piscinas*”.

CHEQ4 Herramienta para la validación del cumplimiento del HE4 en instalaciones solares térmicas

VOLUMEN DE ACUMULACIÓN

Volumen total (l):
 Vol/Área (l/m²): 0,00

DISTRIBUCIÓN

Long. circuito (m):
 Diám. tubería (mm):
 Esp. aislante (mm): T. imp.(°C):
 Aislante:

PISCINA CUBIERTA

Altura (m): Temp. ambiente (°C):
 Apertura diaria (h): Temp. piscina (°C):
 Superficie lámina (m²): Renov. volumen día (%):
 Humedad relativa (%): Ocupación (pers/m²):

VOLUMEN ACUMULACIÓN SUBESTACIONES

Tipo A (l): Tipo C (l):
 Tipo B (l): Tipo D (l):
 Volumen total (l): Vol/Área (l/m²):
DISTRIBUCIÓN SUBESTACIONES

Long. total (m):
 Diám. tubería (mm):
 Esp. aislante (mm):
 Aislante:

Botones: Datos proyecto, Nuevo proyecto, Abrir proyecto, Guardar proyecto, Ayuda, Acerca de..., Salir

Figura 17: Pestaña Otros parámetros programa CHEQ4 (Fuente CHEQ4)

La última pestaña del programa es la que presenta los resultados obtenidos al incorporar la instalación solar. Se muestran los valores anuales de fracción solar, demanda neta, demanda bruta, aportación solar, consumo auxiliar y reducción de las emisiones CO₂. El programa CHEQ4 verifica que todos los datos cumplen con la sección DB-HE4. Si los datos son correctos el programa permite generar un certificado con los datos y resultados obtenidos.



Figura 18: Pestaña de Resultados del programa CHEQ4 (Fuente CHEQ4)

La contribución solar obtenida por las instalaciones en cada caso simulado se implementa posteriormente en la casilla “Porcentaje de demanda de ACS cubierta” del apartado de “Contribuciones energéticas” que figura dentro de la pestaña de “Instalaciones” del programa CE3X. Posteriormente, se obtiene la calificación energética del edificio obtenida después de la introducción de este valor.

En el capítulo 6 de Resultados se analizará posteriormente de forma pormenorizada como afecta la incorporación de instalaciones solares térmicas para cubrir las demandas de ACS y piscina en la calificación energética de los edificios estudiados.

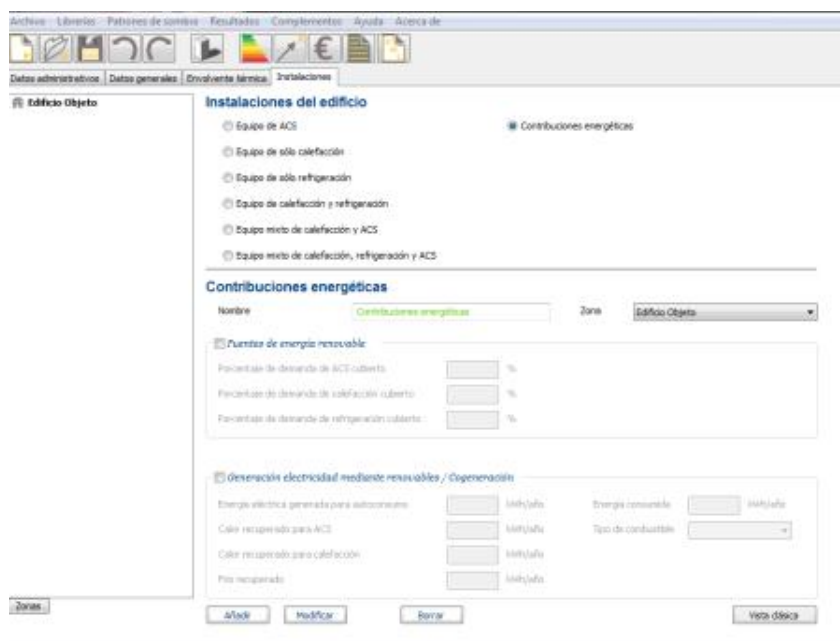


Figura 19: Pestaña de Instalaciones del programa CE3X (Fuente CE3X)

5.3 Implementación de Instalaciones solares para ACS, calefacción y refrigeración en Transol

Una vez definidas las instalaciones solares necesarias para contribuir a la demanda de ACS y piscina, se procede a determinar las instalaciones solares que abastecerán todas las demandas térmicas del edificio, es decir de ACS, piscina, calefacción y refrigeración. Para ello, como se mencionaba en el capítulo 4 de “Metodología”, se emplea el programa de simulación dinámica de instalaciones solares térmicas TRANSOL.

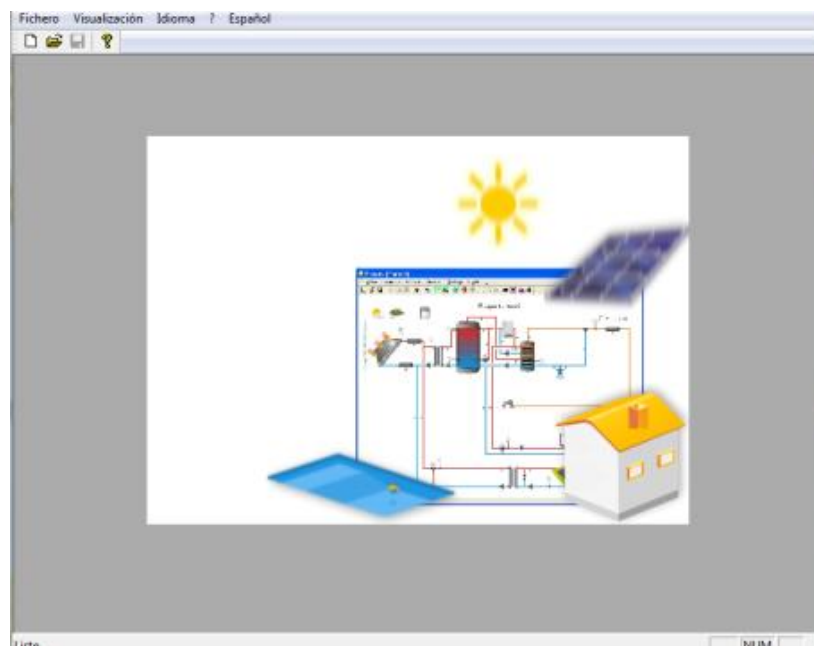


Figura 20: Programa Transol (Fuente TRANSOL)

En primer lugar, se debe seleccionar una de las configuraciones hidráulicas predefinidas en el programa para viviendas unifamiliares, plurifamiliar, terciario, procesos industriales y climatización. En nuestro caso, se ha seleccionado para todas las tipologías edificatorias el esquema SCH601 correspondiente al **sistema climatización** que incluye la posibilidad de satisfacer las demandas de ACS, calefacción y refrigeración. Una vez seleccionado este sistema, se seleccionara el tipo de uso del edificio (oficina, hospital, plurifamiliar, etc.). La única excepción corresponde a las viviendas unifamiliares de Burgos, donde la configuración elegida es la correspondiente a un sistema unifamiliar, esquema SCH111, porque la demanda de refrigeración es nula.

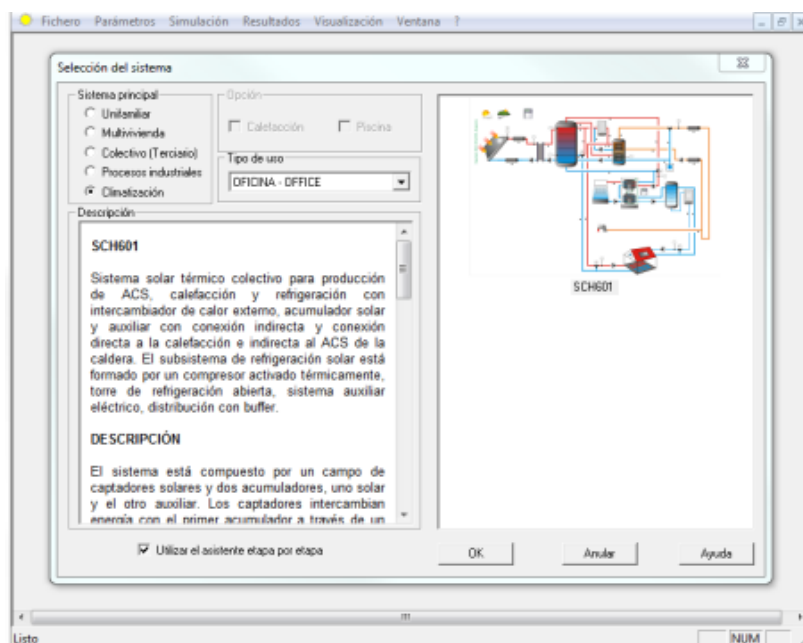


Figura 21: Selección del sistema (Fuente TRANSOL)

Una vez seleccionado el tipo de sistema, debemos fijar los diferentes parámetros que definirán la instalación solar que se irán introduciendo a través de las diferentes pestañas del programa. Primeramente, el programa nos solicita las propiedades de simulación y los datos meteorológicos, tales como el periodo simulado, temperaturas medias mensuales de agua fría, radiación solar, etc. Los datos meteorológicos serán los mismos que se han utilizado en el programa CHEQ4 para cada localidad.

Figura 22: Parámetros de simulación (Fuente TRANSOL)

En la siguiente ventana es necesario definir el tipo de perfil de consumo y el consumo diario en litros de ACS. El perfil de reparto demanda de ACS se ha considerado constante tanto a nivel diario como anual. Dado que el programa de simulación no permite contemplar la demanda de piscina, esta se considera de igual forma a como se hizo en el programa CE3X, es decir, introduciéndola como un consumo de ACS energéticamente equivalente.

Figura 23: Consumo de ACS (Fuente TRANSOL)

Una vez seleccionada la demanda de ACS, en la siguiente ventana se introducen las características del captador solar (coeficientes de rendimiento, superficie, caudal, etc.) y del campo de captación (número de captadores totales, orientación, inclinación, etc.). TRANSOL cuenta con una base de datos de captadores incorporada, pero en nuestro caso, introducimos las características del captador plano determinado en el capítulo 4 de “Metodología”.

Captador solar

Baza de datos: **Captador plano**

Fabricante: **Genética**

Producto: **Genética**

Laboratorio:

Características

η_0 = **0.773** η_{AM} = **0.95**

a_1 = **3.743** W/m²K a_{bua} = **1.962** m

a_2 = **0.021** W/m²K² Q_0 = **72** W/m²

Capacidad = **12.3** kJ/m²K

Número de captadores: **95** Superficie unitaria: **2.18** m²

Orientación: **0** Superficie total: **209.28** m² Inclinación β : **40**

Latitud ϕ : **0** Longitud λ : **0**

Capacidad térmica del fluido: **Agua (4.19 kJ/kgK)**

Anticongelante a: **30** %

Q₀: **4.19** kJ/kgK

Temp. Congelación: **-14** °C

Campo de captadores:

Número de filas: **4**

Longitud fila: **29.33** m

Cantidad en serie: **1**

Distancia entre filas: **3.614** m

Superficie total: **424** m²

OK Cancel Ayuda

Figura 24: Características del captador solar (Fuente TRANSOL)

Las siguientes ventanas del programa permiten dimensionar el resto de equipos del sistema tales como el acumulador, bombas, tuberías, máquina de absorción, torre de refrigeración, etc...

Por último el programa solicita una serie de datos económicos que permitirán analizar la viabilidad económica del sistema una vez realizada la correspondiente simulación. Una vez terminada la introducción de los parámetros correspondientes a la instalación solar, nos aparecerá en pantalla la configuración resultante del sistema seleccionado.

En este punto, es necesario implementar las características del edificio a abastecer con energía solar de manera que sus demandas de calefacción y refrigeración, resultado de ejecutar la correspondiente simulación, se parezcan lo máximo posible a las demandas obtenidas en el CE3X.

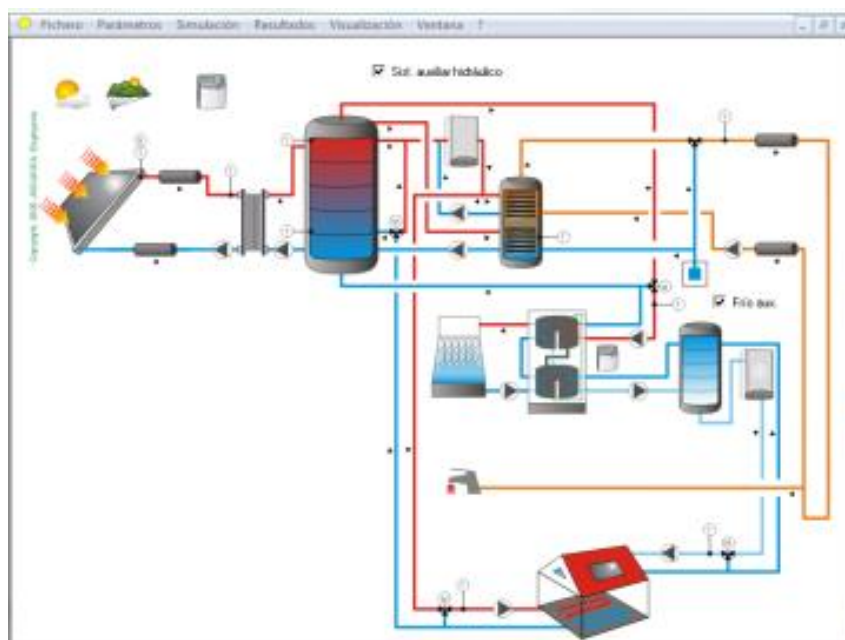


Figura 25: Configuración del sistema seleccionado (Fuente TRANSOL)

Dado que no es posible importar los resultados de demanda energética de los diferentes edificios en el programa TRANSOL, ha sido necesario implementar de nuevo los edificios en él. Los edificios se deben definir geométrica y constructivamente incluyendo detalles que caracterizan los sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación.

Es necesario no obstante, ajustar sus características hasta hacer coincidir las demandas de calefacción y refrigeración de ambos programas. Algunos de estos parámetros no coinciden con los establecidos en CE3X y han tenido que ser modificados con la finalidad de ajustar a las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas por TRANSOL a las obtenidas por CE3X, ya que utilizan motores de cálculo diferentes y resulta muy complejo que con la simple definición geométrica y constructiva del edificio se puedan alcanzar exactamente los mismos resultados.

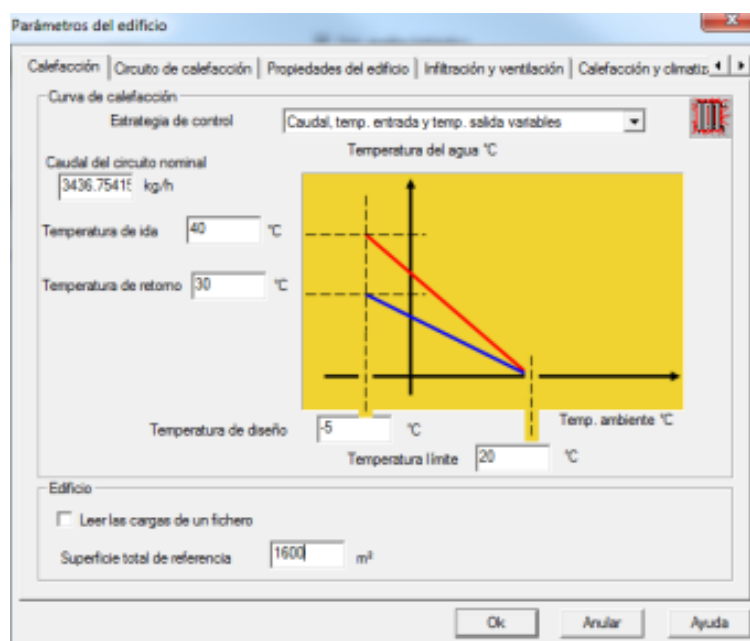


Figura 26: Parámetros del edificio (Fuente TRANSOL)

El programa presenta un sistema solar por defecto fijando todas las variables de la instalación (número de captadores, volumen de acumulación, etc.) que busca satisfacer la mayor demanda de ACS posible y cubrir parte de la demanda del resto de aplicaciones abastecidas, en este caso calefacción y refrigeración. En los casos en los que la contribución solar obtenida para ACS de la instalación obtenida por defecto no ha llegado a alcanzar la contribución mínima exigida por el DB HE4 del CTE 2013, ha sido necesario aumentar la superficie de captación hasta llegar a alcanzarla.

Figura 27: Parámetros del edificio (Fuente TRANSOL)

Como resultado de cada simulación, TRANSOL, genera un informe completo que muestra la demanda energética por aplicación del edificio abastecido, aportación solar, eficiencia del sistema, análisis económico y medioambiental, etc.

Tal y como se vio en el punto anterior, una vez determinadas las contribuciones solares como resultado de las simulaciones para cada una de las aplicaciones abastecidas: ACS, calefacción y refrigeración, éstas se implementan en su correspondiente casilla en el apartado de “*Contribuciones Energéticas*” de la pestaña de “*Instalaciones*” para cada edificio en el programa CE3X obteniéndose como resultado una mejora de la calificación energética que pasaremos a analizar detenidamente en el capítulo 6 de “*Resultados*” siguiente.

Figura 28: Parámetros del edificio (Fuente TRANSOL)

5.3.1 Distribución de producción solar, rendimiento y fracción solar

En este apartado se analiza cómo puede la distribución mensual de la demanda térmica de un edificio afectar a la capacidad de producción solar. Los gráficos siguientes muestran la distribución mensual de las diferentes demandas del edificio de forma separada y también agregada. La demanda agregada es la suma de las demandas de ACS (y piscina), calefacción y una demanda de calor equivalente a la demanda de refrigeración que tiene en cuenta que ésta se abastece mediante máquinas de absorción a las que hay que alimentar con energía térmica.

La distribución mensual demandas térmicas que se obtiene en el caso de un hospital construido a partir de 2013 en Madrid, presenta un perfil muy uniforme durante todos los meses del año y crece de forma muy acusada desde mayo a septiembre debido a la demanda de refrigeración. Este perfil de demanda hace que sea muy complicado que se pueda dar una aportación solar significativa en los meses de verano sin incurrir en excesos de producción durante los meses de primavera y otoño.

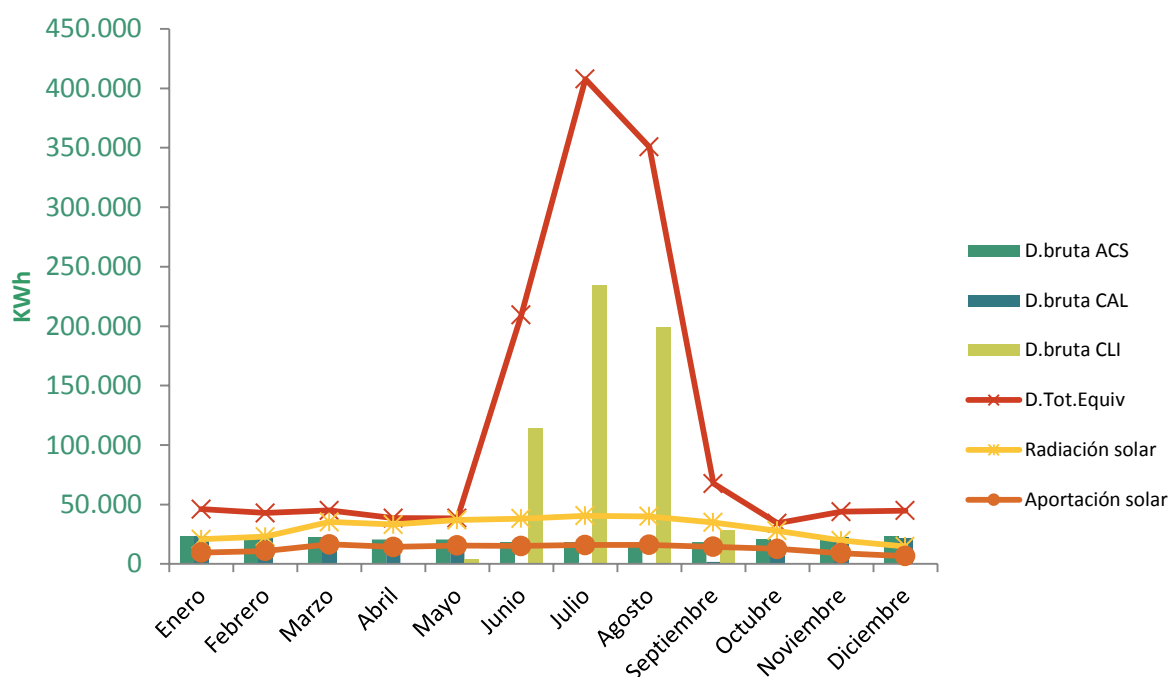


Gráfico 1: Producción solar 96 captadores Hospital de Madrid, año >2013

En el gráfico anterior se aprecia como la producción solar correspondiente a una instalación de 96 captadores dista mucho de alcanzar fracciones solares altas sobre la demanda total equivalente de calor incluso en los meses de primavera y otoño por lo que en principio sería posible que con una instalación de mayor tamaño se obtuviera una fracción solar total mayor sin producir excesos durante los meses de primavera y otoño.

Si se simula una instalación de mayor tamaño, de 300 captadores, el perfil de producción solar más elevado alcanza fracciones solares próximas al 100 % en los meses de abril, mayo y octubre, no existiendo excedentes de producción durante cualquier otro mes del año.

La curva de producción solar de esta instalación se adaptaría mucho mejor a la curva de demanda tal y como hemos explicado anteriormente. No obstante, se aprecia en este segundo gráfico como los valores de producción solar y radiación solar difieren en mayor medida que en el caso de la instalación de 96 captadores, lo cual quiere decir que el rendimiento de la instalación solar es mucho menor.

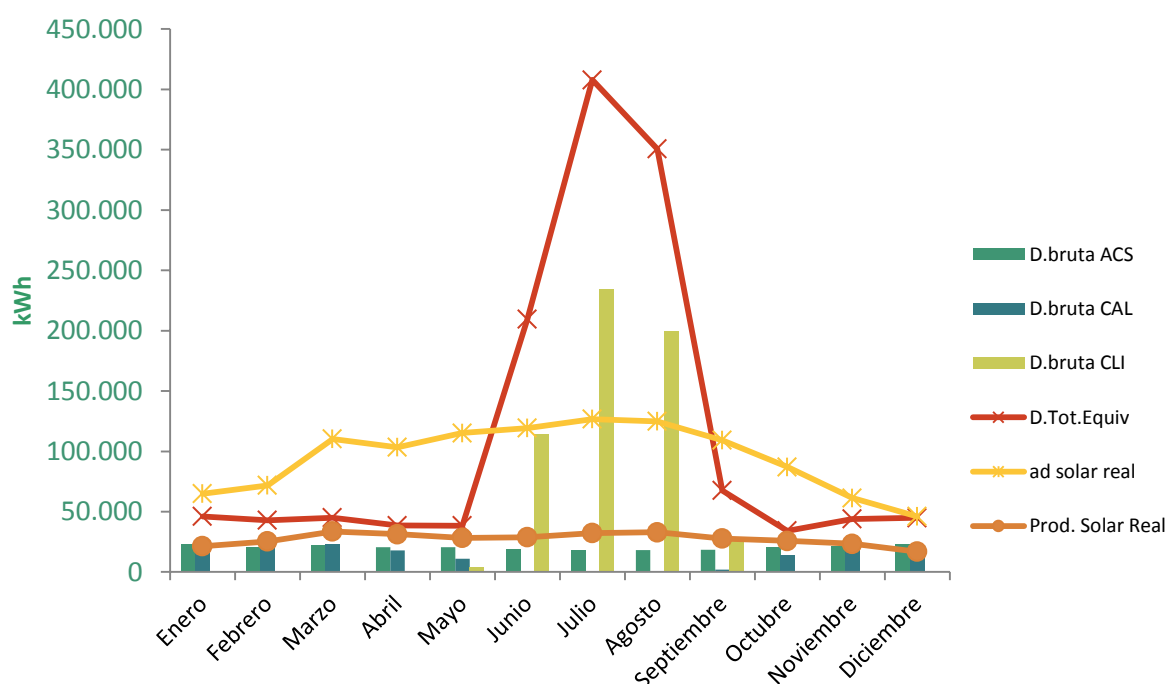


Gráfico 2: Producción solar 300 captadores Hospital de Madrid, año >2013

Para determinar la instalación óptima a implementar en el edificio se han realizado sucesivas simulaciones realizadas sobre el caso base que el propio TRANSOL presenta por defecto al ejecutar la simulación, ya que ésta, en principio, representa el máximo aprovechamiento de la instalación solar para satisfacer la demanda de ACS, como vimos anteriormente. En cada simulación se incrementa la superficie solar y se estudia cómo evoluciona la fracción solar, la producción solar específica por m^2 y el rendimiento solar.

En la siguiente tabla podemos ver como conforme se aumenta la superficie de captación la fracción solar aumenta a la vez que disminuye el rendimiento solar. Se aprecia que el incremento de la fracción solar no es proporcional al incremento de superficie, sino que, conforme ésta aumenta, la producción tiende a una asíntota produciendo cada vez menos energía.

	Simulación base	Simulación 1	Simulación 2	Simulación 3	Simulación 4	Simulación 5
Nº captadores	96	150	200	250	300	350
Superficie (m2)	209	327	436	545	654	763
Producción unitaria (kWh/m2)	1.071	911	830	767	717	675
Fracción solar (%)	11%	15%	19%	21%	24%	26%
Incremento Fracción solar	-	33%	21%	15%	12%	10%
Rendimiento solar (%)	43%	36,6 %	33,3 %	30,8%	28,8%	27,1%
Pérdida de producción sobre el caso base (%)	-	85 %	78 %	72 %	67%	63%

Tabla 34: Evolución de fracción solar, rendimiento solar, horas de producción de instalaciones solares térmicas en Hospital en Madrid año de construcción 2015.

Esto no quiere decir que la instalación que mejor se adapte a las necesidades del edificio tenga que ser necesariamente la que mejor rendimiento solar representa. El límite vendrá impuesto por el compromiso alcanzado entre disponer de una adecuada fracción solar y un valor de rendimiento solar mínimo que haga viable económicamente la operación.

Los valores mostrados en la gráfica anterior se representan gráficamente de la siguiente manera:

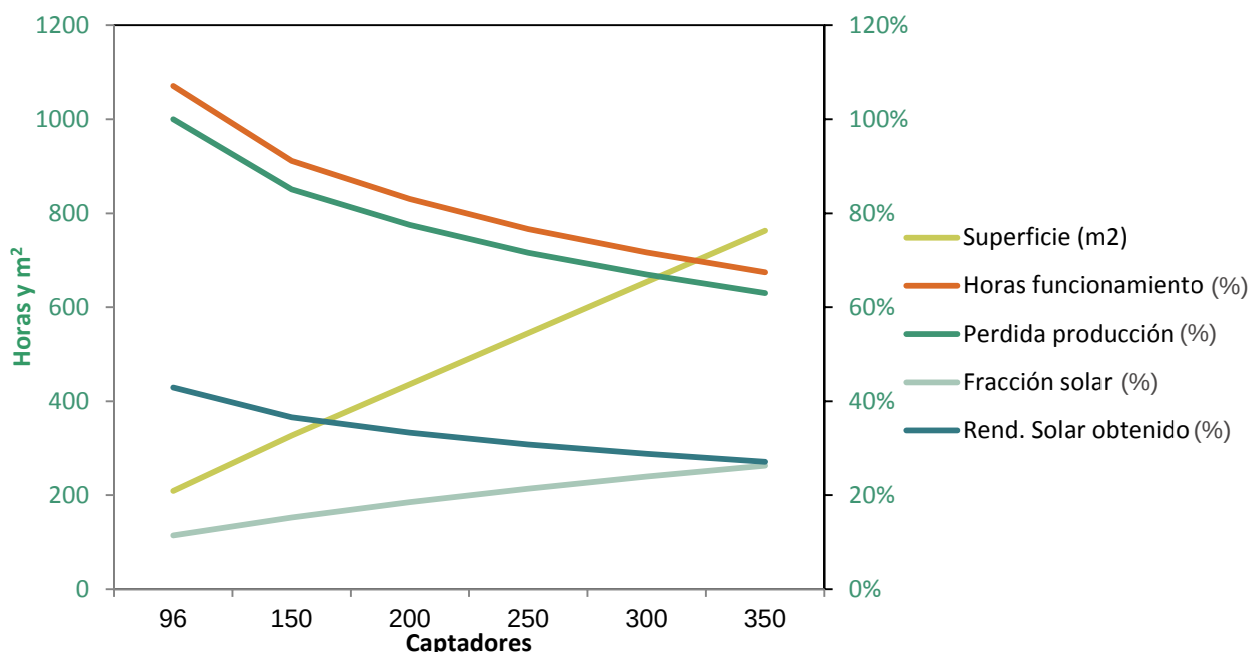


Gráfico 3: Evolución de fracción solar, rendimiento solar, horas de producción de instalaciones solares térmicas en Hospital en Madrid año de construcción 2014.

Se aprecia como la fracción solar no crece de manera paralela a cómo crece la superficie de captación de las instalaciones solares. El rendimiento solar decrece fuertemente con el tamaño de la instalación hasta el punto de que al crecer la instalación al doble de su tamaño, de 100 a 200 captadores, el rendimiento cae un 10 % y al triplicar su tamaño cae por debajo del 30 %. El mismo ejercicio realizado a la inversa, es decir, disminuyendo el tamaño de la instalación, supone una mejora del rendimiento de la instalación solar pero se desaprovecha el potencial de aporte solar a la demanda de ACS ya que se alcanzan coberturas cada vez menores, por lo tanto se ha desestimado esta opción.

Si analizamos, por ejemplo, el caso de los hoteles construidos a partir de 2014 en Madrid, la distribución de demandas proporciona algo más de margen a que las coberturas para cada aplicación térmica sean mayores que en el caso de los hospitales, ya que la combinación de las tres demandas presenta un perfil de demanda de calor equivalente algo más equilibrado, no existiendo un contraste demasiado grande entre la demanda de los meses de verano y el resto del año. La distribución de demandas sobre la demanda total es también más equilibrada (ACS 33 %, Calefacción 24 %, Refrigeración 43 %).

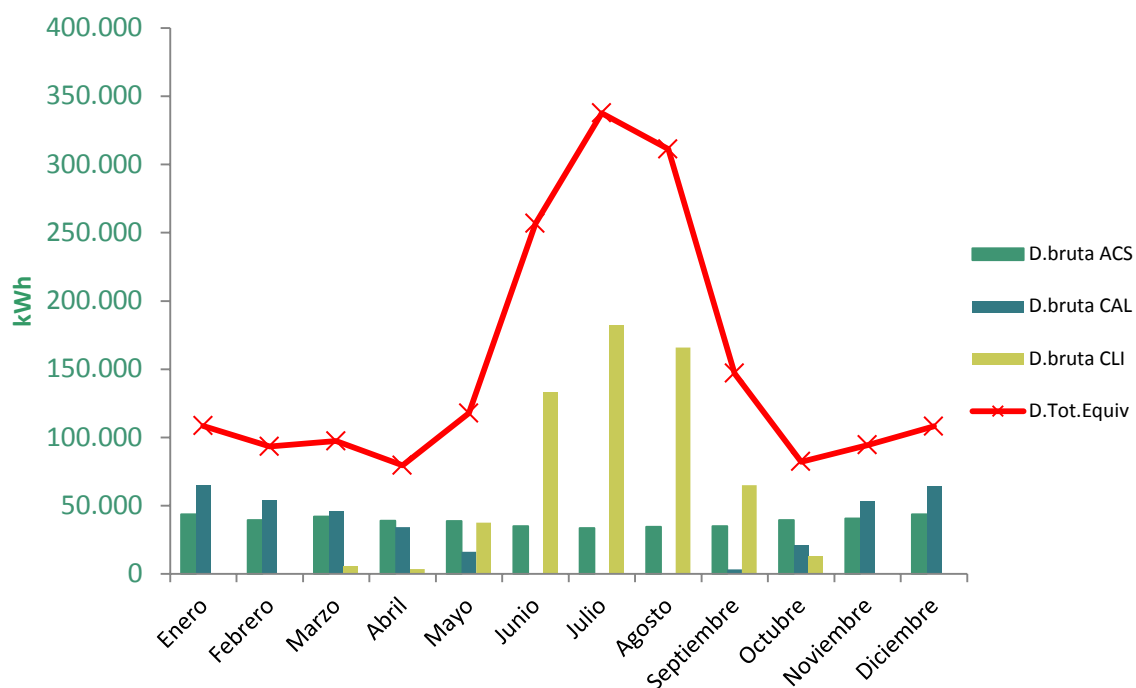


Gráfico 4: Demandas de ACS, Calefacción y refrigeración 96 captadores Hotel en Madrid, año >2013

Si superponemos la producción solar obtenida por TRANSOL para este caso:

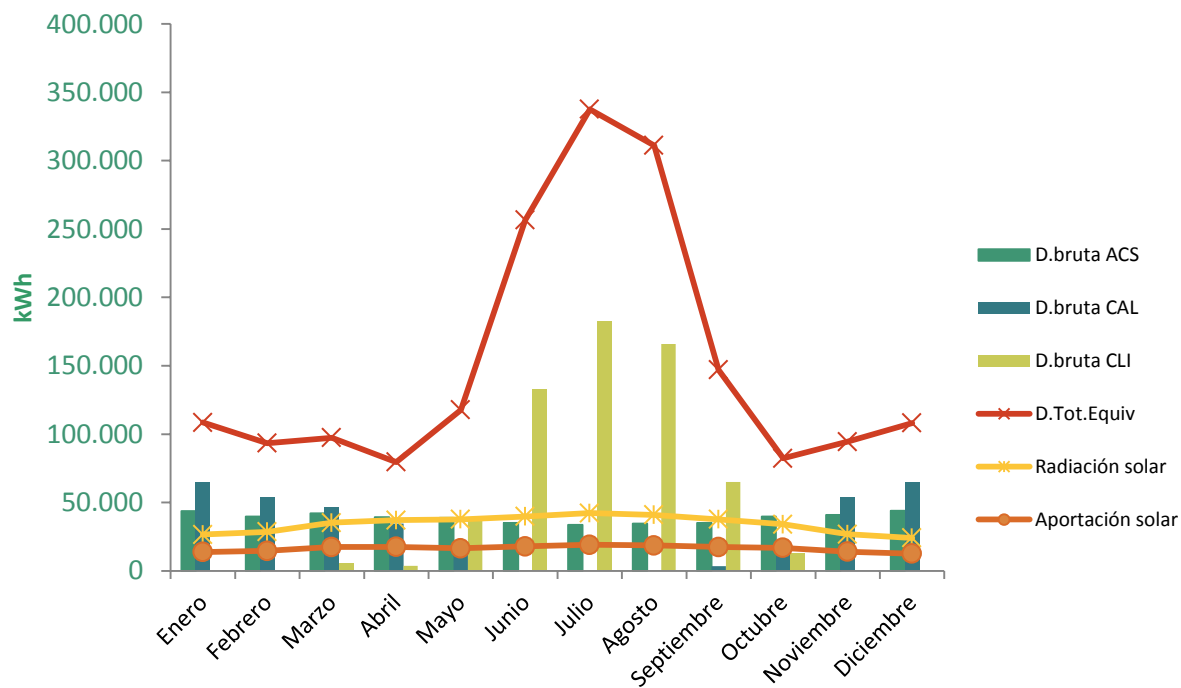


Gráfico 5: Demandas térmicas y producción solar 96 captadores Hotel en Madrid, año >2013

	Simulació n base	Simulació n 1	Simulació n 2	Simulació n 3	Simulació n 4	Simulació n 5
Nº captadores	96	150	200	250	300	350
Superficie (m2)	209	327	436	545	654	763
Producción unitaria (kWh/m2)	1.337	1.222	1.139	1.076	1.031	989
Fracción solar (%)	11%	15%	19%	22%	26%	29%
Incremento Fracción solar	-	43%	24%	18%	15%	12%
Rendimiento solar (%)	48%	43,6%	40,7%	38,4%	36,8%	35,3%
Pérdida de producción sobre el caso base (%)	-	91 %	85%	80%	77%	74%

Tabla 35: Evolución de fracción solar, rendimiento solar, horas de producción de instalaciones solares térmicas en Hotel en Madrid año de construcción 2015.

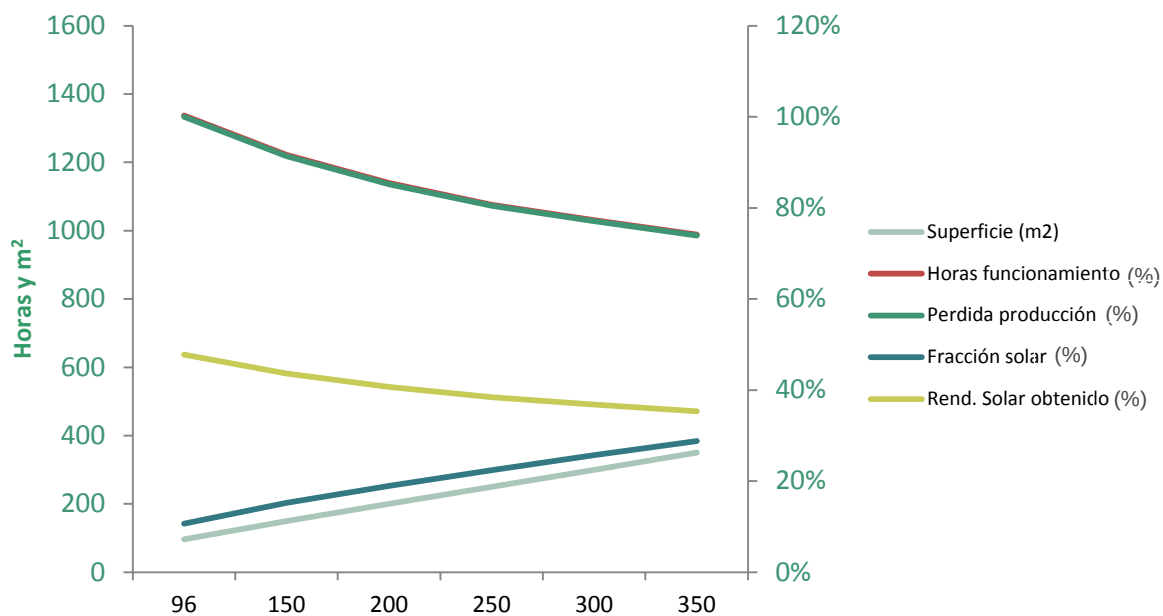


Gráfico 6: Evolución de fracción solar y rendimiento solar en función de la superficie de captación para Hotel en Madrid, año de construcción >2013

Si comparamos la producción de los hoteles construidos en Madrid a partir de 2013 con el caso de los hospitales se aprecia que el rendimiento solar del caso base es mayor en el caso de los hoteles (48% frente a 43%) a pesar de que la fracción solar anual es la misma que la obtenida en el caso de los hospitales.

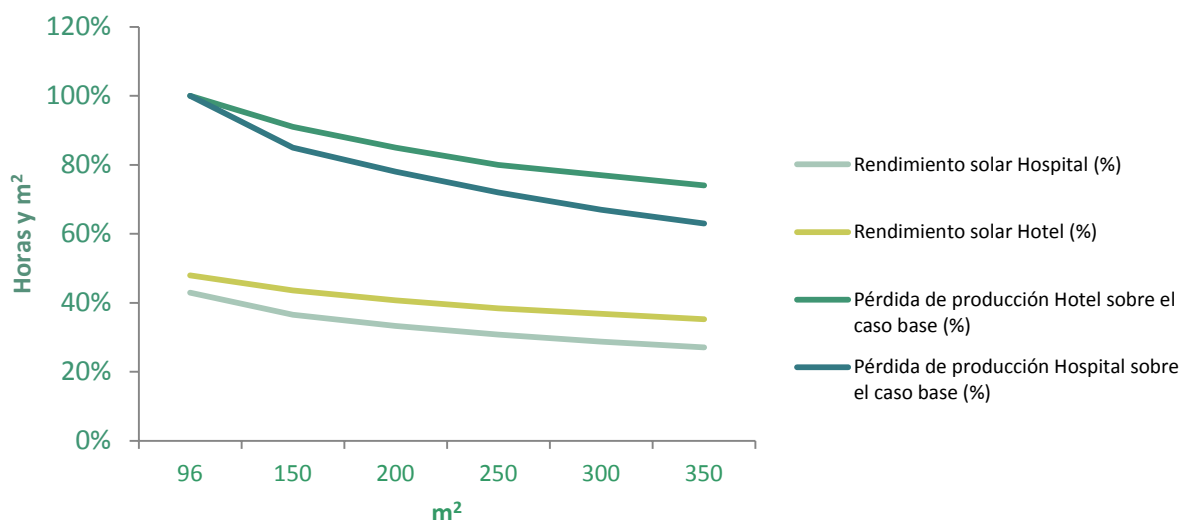


Gráfico 7: Comparativa rendimiento solar en función de la superficie de captación entre Hotel y Hospital en Madrid, año >2013

Si comparamos cómo evolucionan los rendimientos solares de ambas tipologías edificatorias vemos como a pesar de que en el caso de los hoteles estos son inicialmente algo mayores, evolucionan disminuyendo de manera similar con el aumento de superficie de captación.

Sin embargo, la pérdida de rendimiento va creciendo más en el caso de los hospitales que en el caso de los hoteles con el crecimiento de la superficie.

Debido a que se ha comprobado que cualquier incremento en la superficie de captación sobre el caso base, supone para cualquier tipología edificatoria una merma en su rendimiento, las instalaciones solares a implementar serán aquellas que el programa TRANSOL establezca por defecto, siendo estas incrementadas en tamaño solo en el caso de que la fracción solar de ACS no alcance la contribución mínima establecida en el CTE HE4 del 2013.

6 Resultados

6.1 Consideraciones sobre la demanda de los edificios

En este capítulo se mostrarán, analizarán y compararán los resultados de las diferentes demandas térmicas (ACS y piscina, calefacción, refrigeración), obtenidas para todas las tipologías edificatorias, localizaciones y años de construcción considerados en el estudio. Una vez implementados todos los casos a simular en la herramienta CE3X, y obtenidas todas las demandas energéticas térmicas de los edificios, se analiza su distribución con el objeto de extraer conclusiones que permitan determinar que influencia puede tener ésta en los resultados obtenidos una vez sean incorporadas las instalaciones solares.

La distribución e importancia de las distintas demandas térmicas de los edificios varía, no solo en función de la tipología edificatoria considerada sino también, para una misma tipología, en función de la localización y año de construcción. Por lo tanto, hacer un análisis comparativo global entre las diferentes demandas resulta complejo si no se fija antes al menos una de las tres variables mencionadas anteriormente: tipología edificatoria, año de construcción o localización.

En la siguiente tabla se muestra como se distribuyen las demandas térmicas obtenidas en CE3X por tipología edificatoria. Los valores mostrados son valores promedio para todas las localizaciones y periodos de construcción.

	Demanda ACS + Piscina	Demanda calefacción	Demanda refrigeración
Unifamiliar	16%	67%	17%
Plurifamiliar 4	23%	60%	17%
Plurifamiliar 8	15%	66%	19%
Oficina 4	4%	49%	47%
Oficina 8	5%	41%	54%
Hospital	22%	33%	45%
Polideportivo	62%	16%	17%
Hotel	30%	31%	40%
Centro comercial	0,3%	52,7%	51%

Tabla 36: Distribución de las diferentes demandas térmicas por tipología edificatoria.

Los edificios que presentan una distribución de demandas más equilibrada son los hospitales y los hoteles, donde ninguna de las demandas parciales supera el 50 % de la demanda total del edificio y ninguna demanda presenta valores particularmente bajos.

A continuación, se realiza un análisis que compara las demandas obtenidas para diferentes casos de la siguiente manera:

- Comparativa de resultados entre diferentes tipologías edificatorias considerando un año de construcción y localización determinada,
- Comparativa de las diferentes demandas de una determinada tipología edificatoria, en una localización dada, en función del año de construcción.
- Comparativa entre las demandas de una tipología edificatoria determinada, construida en un periodo determinado en función de su localización.

Esta comparativa, como se ha mencionado anteriormente, permitirá analizar que influencia puede tener la distribución de demandas en el impacto sobre la certificación energética obtenido al incorporar la energía solar térmica. Se analiza por ejemplo la importancia que la demanda de ACS y piscina (en su caso), tiene sobre demanda total para cada tipología edificatoria en función de la localización y año de construcción, ya que, cuanto mayor sea ésta, mayor será el efecto de incorporar las instalaciones solares que solo satisfarán dichas demandas. Por otro lado, se analiza la importancia que cada demanda térmica tiene sobre la demanda total para evaluar la viabilidad técnica de satisfacer todas las demandas térmicas mediante energía solar.

En la siguiente tabla se muestra la proporción de demanda de ACS (y piscina en su caso), en función del año de construcción sobre la demanda térmica total del edificio obtenidos como valores promedio para todas las localizaciones.

	Distribución demandas ACS por periodo constructivo				
	<1981	1981 2006	2007 2014	>2014	Promedio
Unifamiliar	9%	11%	23%	26%	17%
Plurifamiliar 4	15%	16%	23%	40%	23%
Plurifamiliar 8	10%	11%	15%	24%	15%
Oficina 4	4%	4%	5%	5%	4%
Oficina 8	4%	4%	5%	6%	5%
Polideportivo	55%	60%	67%	64%	62%
Hospital	18%	19%	25%	26%	22%
Hotel	23%	22%	30%	44%	30%
Centro comercial	0%	0%	0%	0%	0%

Tabla 37: Proporción de la demanda de ACS sobre la demanda térmica total del edificio.

Los edificios donde más influencia tiene la demanda de ACS y climatización de piscina son los polideportivos, donde su valor está comprendido entre valores que oscilan, en función de la localización y año de construcción, entre el 50 y el 70 % de la demanda térmica global del edificio, siendo el promedio un 62 %. Esta diferencia tan acusada con respecto al resto de las tipologías edificatorias se debe a la influencia que tiene la demanda de calor necesaria para climatizar la piscina, demanda que no se da en el resto de edificios. Después de los polideportivos, los edificios que mayor demanda promedio de ACS presentan son los hoteles, seguidos por los edificios plurifamiliares de cuatro plantas y los hospitales, siendo en todos ellos superior al 20 %.

En los hoteles, la demanda de ACS promedio para todas las localizaciones representa el 30 % de la demanda total, seguidos por los plurifamiliares de 4 plantas y hospitales donde la demanda de ACS es un 23 y un 22 % respectivamente. Los edificios que disponen de una menor demanda de ACS son los centros comerciales y los edificios de oficinas, donde la demanda de ACS no supera el 5 %.

Hasta ahora, se ha mostrado tan solo la distribución de demandas para cada tipología edificatoria como valores promedio para todas las localizaciones y años de construcción, pero esta distribución varía de forma sustancial cuando se tiene en cuenta su localización específica y año de construcción.

Tomando por ejemplo el caso de los edificios construidos en Madrid en años anteriores a 1981, se aprecia como la demanda de ACS tiene especial importancia sobre todo en hoteles y hospitales. En el caso de polideportivos, la demanda de ACS combinada con la de piscina, supera incluso la demanda de calefacción. En centros comerciales, edificios de oficinas y edificios residenciales la demanda de ACS es muy pequeña comparada con la de calefacción.

En todos los casos, se observa que la demanda de calefacción siempre es más alta que la de refrigeración. En el caso de los centros comerciales, hoteles y residencial plurifamiliar ésta demanda es sensiblemente más alta llegando a duplicar la demanda de refrigeración.

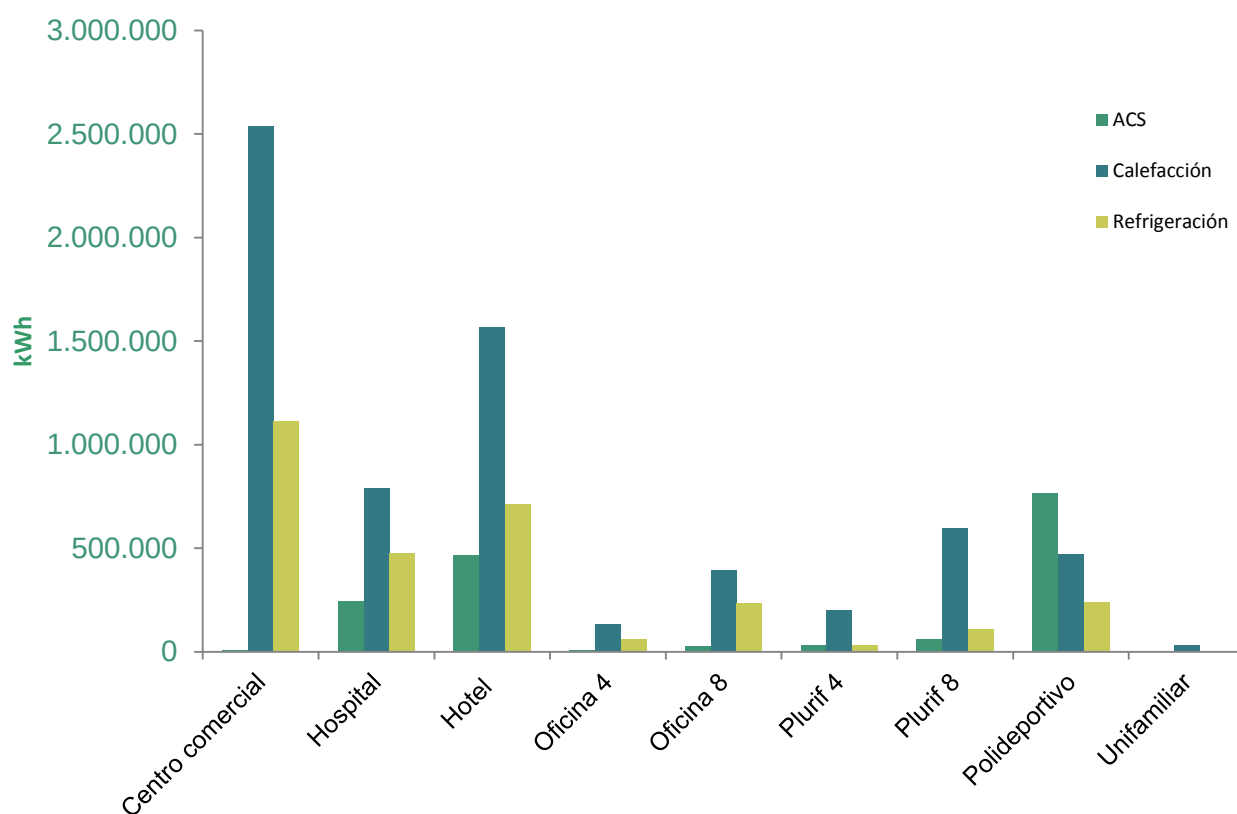


Gráfico 8: Demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración de todas las tipologías edificatorias en Madrid antes de 1981

Como se ha mencionado anteriormente en el capítulo 5 de “*Simulaciones*”, abastecer la demanda de refrigeración con energía solar mediante máquinas de absorción o adsorción, supone que la instalación solar tiene que generar un calor equivalente igual a prácticamente el doble que la demanda de refrigeración (debido a que el rendimiento medio estacional de las máquinas de absorción es de 0,6 o 0,7). De esta manera, la demanda anual de calefacción podría quedar prácticamente igualada a la demanda equivalente en calor anual para refrigeración. Este escenario podría resultar favorable para la incorporación de energía solar ya que el perfil de demanda agregado, resultado de sumar la demanda de calefacción, decreciente en los meses de verano, a la creciente demanda de calor equivalente necesaria para refrigeración, podrían llegar a presentar una demanda de calor mensual uniforme. Más adelante se estudiará en detalle para diferentes casos si la distribución mensual de estas demandas favorece la incorporación de energía solar.

En cualquier caso, independientemente de las conclusiones a las que se llegue en esta sección, en el apartado 6.4 “*Impacto de incorporación de energía solar térmica para las aplicaciones de ACS, climatización de Piscina, calefacción y refrigeración*”, se analizará en detalle si la diferente distribución entre demandas tiene algún efecto en la calificación energética obtenida al incorporar la energía solar térmica.

La demanda de ACS cobrará mayor importancia según avance el año de construcción del edificio, ya que el resto de demandas tenderá con carácter general a tener menor importancia cuanto más exigentes sean sus características constructivas. La demanda de calefacción disminuirá conforme aumente el año de construcción en todas las tipologías edificatorias y la demanda de refrigeración lo hará también en el caso de los edificios residenciales. De esta manera, la demanda de ACS puede tener una importancia relativamente pequeña, respecto a las demandas de calefacción y refrigeración, en un edificio construido antes del año 1981 pero mayor en un edificio construido a partir de 2013.

Por lo tanto, el efecto sobre la calificación energética del edificio al introducir sistemas solares que abastezcan a todas las demandas, debería suponer en general un aumento de la cobertura solar total, o instalaciones solares de menor tamaño para alcanzar las mismas coberturas, y una mejora de la calificación conforme avance el año de construcción.

En el caso de incorporar instalaciones solares térmicas que abastecen solo la demanda de ACS, el efecto sobre la calificación energética debería ser cada vez mayor conforme avance el año de construcción, ya que como se ha visto anteriormente, la demanda de ACS tenderá a cobrar una importancia cada vez mayor en el edificio.

Si comparamos las demandas energéticas existentes en los edificios entre diferentes zonas climáticas, el contraste es significativo. Si comparamos las demandas obtenidas como promedio para todas las tipologías edificatorias entre los edificios construidos antes de 1981 en Madrid con los correspondientes a Burgos, obtenemos que la demanda de calefacción en Burgos aumenta un 34% y la demanda de refrigeración disminuye hasta el 25 % respecto a los valores obtenidos para Madrid. La demanda de ACS sin embargo solo es un 6 % más alta de media debido a la menor temperatura del agua de red existente en Burgos.

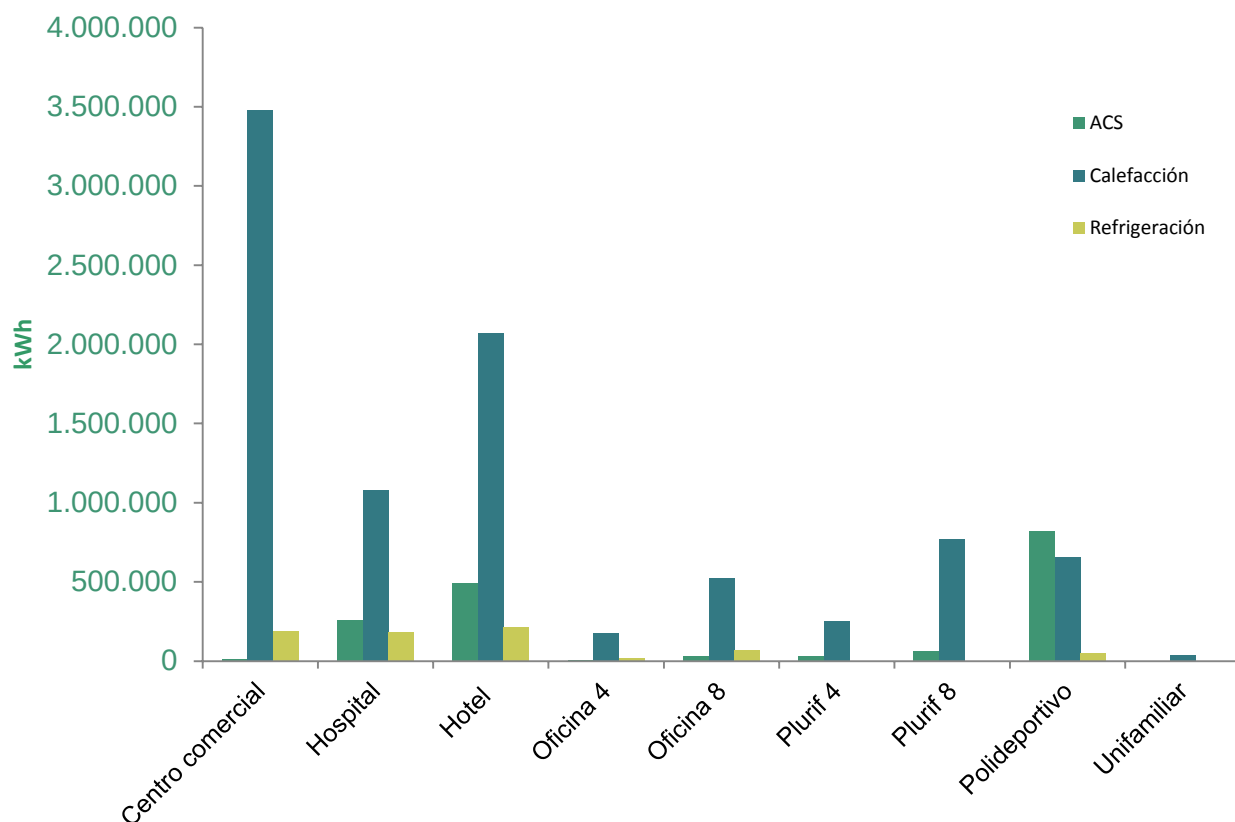


Gráfico 9: Demandas de ACS, Piscina, calefacción y refrigeración de todas las tipologías edificatorias en Burgos antes de 1981

En el caso de Burgos, las demandas de calor equivalentes a la refrigeración son mucho menores que las de calefacción, por lo que al menos en los edificios construidos anteriormente al 1981 las demandas de calefacción y de calor equivalente para refrigeración no llegarían a asemejarse como ocurría en el caso de Madrid.

Si comparamos los resultados de demandas obtenidos para los edificios construidos antes de 1981 en Sevilla con los de Madrid ocurre el efecto contrario, la calefacción disminuye hasta un 36% del valor de la demanda de calefacción en Madrid y la demanda de refrigeración aumenta hasta un 44 % de media.

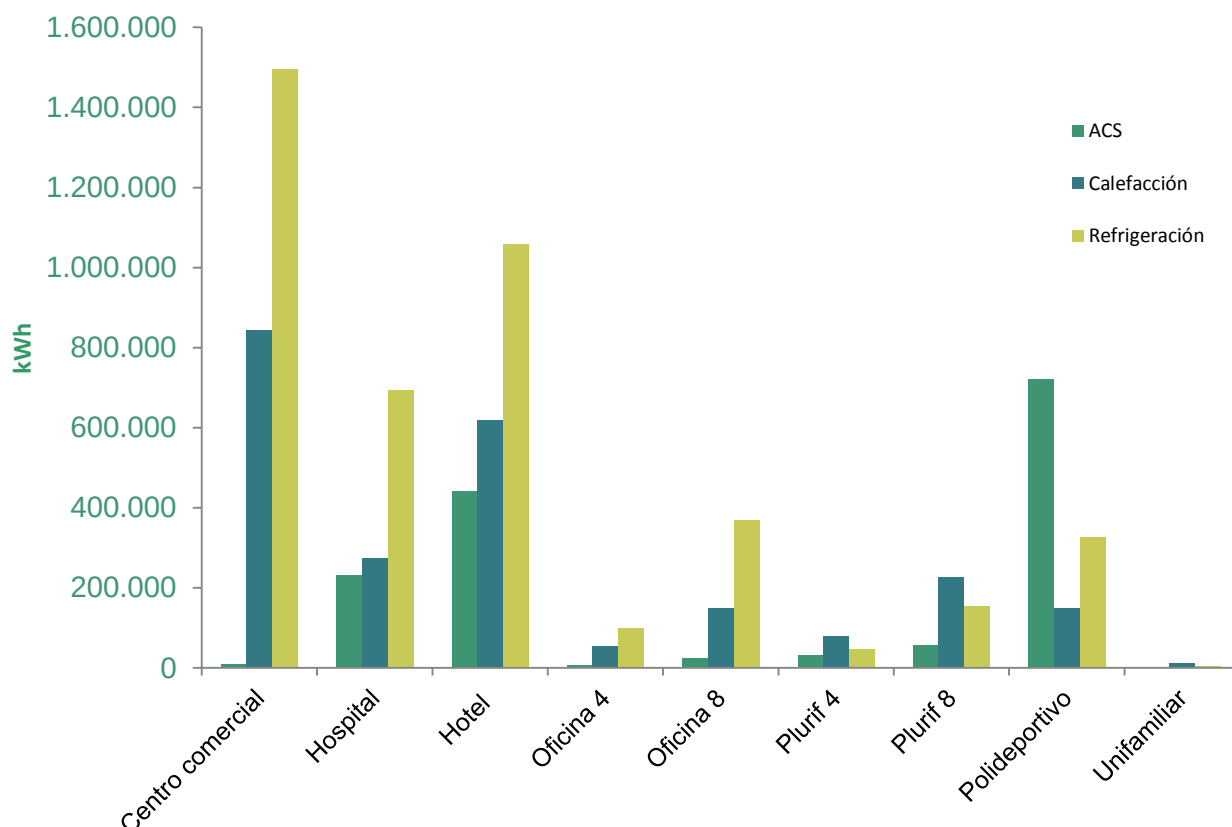


Gráfico 10: Demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración de todas las tipologías edificatorias en Sevilla

En este caso, la demanda de calor equivalente para refrigeración es mucho más alta que la de calefacción, por lo que podríamos encontrarnos con una descompensación de demandas mensual demasiado grande, teniendo una demanda de calor demasiado baja en invierno y de calor equivalente para refrigeración demasiado alta en verano.

Como se ha mencionado anteriormente, hay que tener en cuenta que las demandas térmicas de los edificios evolucionan conforme se incrementa el año de construcción debido a la aplicación de nuevas exigencias de eficiencia energética en la edificación. Primero a través de la norma básica de la edificación NBE-CT79, y posteriormente debido a la entrada en vigor del Documento Básico HE del CTE de 2006 y su posterior modificación realizada en 2013. En esta última normativa se han incluido principalmente las siguientes actuaciones que alteran sustancialmente el comportamiento térmico de los edificios:

- Mejora de la envolvente térmica de los edificios
- Limitación a los rendimientos de las instalaciones térmicas
- Mejora en las instalaciones de iluminación
- Mejora en la calidad del aire interior.
- Incorporación de energías renovables térmicas para contribución de ACS
- Incorporación de energías renovables eléctricas.

La mejora de las características térmicas de la envolvente térmica de los edificios supone, por un lado, la disminución de la demanda de calefacción de todas las tipologías edificatorias, y por otro, comportamientos diferentes en cuanto a la evolución de la demanda de refrigeración en función del tipo de edificio. La demanda de refrigeración disminuye en el caso del sector residencial pero no sigue una pauta homogénea en el caso de los edificios del sector terciario.

En función del tipo de edificio considerado la demanda de refrigeración disminuye, aumenta o permanece prácticamente constante. Su evolución dependerá de las horas de utilización, la intensidad de uso, las exigencias en iluminación y la exigencia de calidad del aire interior, que a su vez supone la incorporación de sistemas de renovación de aire primario en las instalaciones, e incorporación de recuperadores de calor.

Si comparamos las demandas térmicas de los edificios de todas las tipologías edificatorias de los años de construcción anteriores a 1981 con los posteriores a 2013 de Madrid, vemos que éstas presentan diferencias significativas. Mientras que la demanda de ACS no varía con el tiempo, se aprecia sin embargo cómo, en muchos casos, las demandas de calefacción disminuyen sensiblemente en 2013 con respecto de las demandas existentes en 1981. La disminución alcanza valores del 62 % en el caso de centros comerciales y del 84 % en caso de los polideportivos. La demanda de refrigeración, sin embargo, aumenta hasta un 61 % en el caso de polideportivos y un 55 % en el caso de centros comerciales.

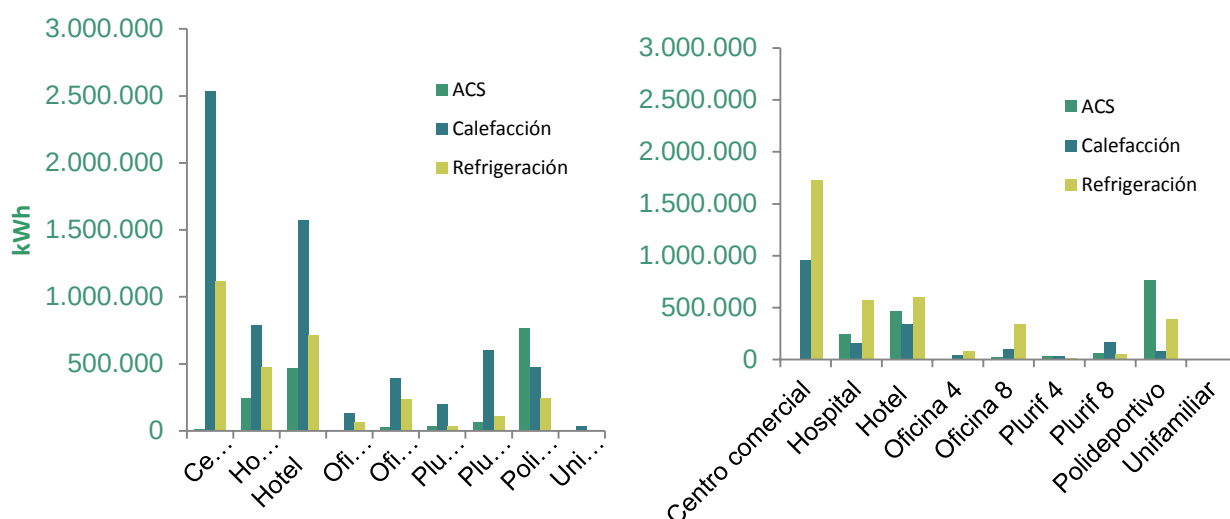


Gráfico 11: Comparativa de demandas de todas las tipologías edificatorias en Madrid en diferentes años. Año < 1981 (izquierda) y año > 2013 (derecha)

Para ilustrar de forma detallada cómo evolucionan las demandas térmicas de algunas de las tipologías edificatorias con el año de construcción, se ha elegido la localización de Madrid que representa una zona climática intermedia. En el caso particular de los centros comerciales, la evolución de demandas térmicas se presenta como sigue:

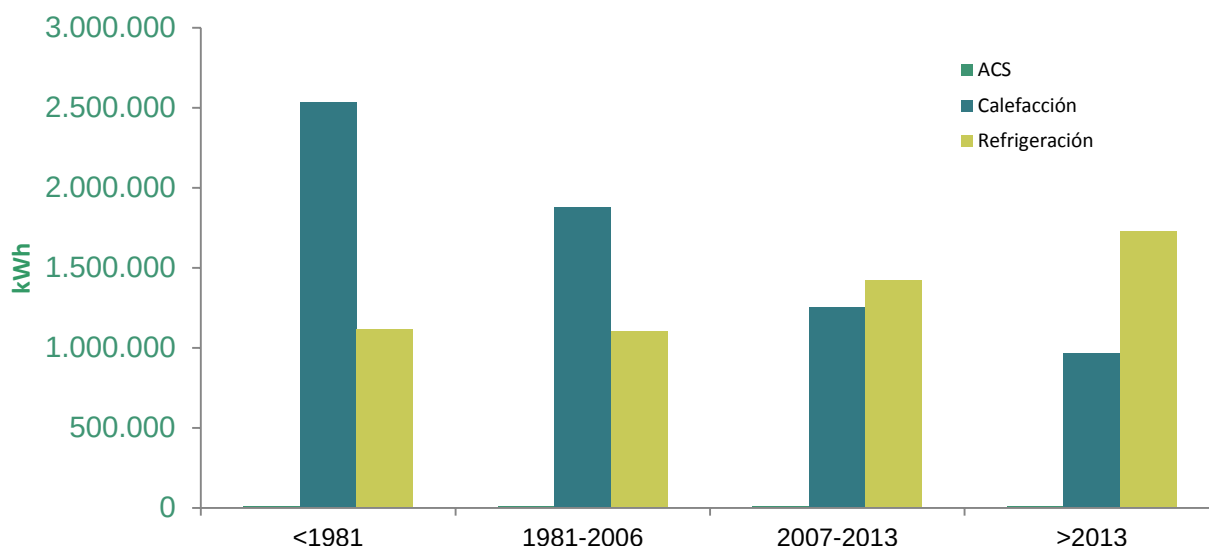


Gráfico 12 Demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración en función del año de construcción en centro comercial en Madrid

En este caso, en los dos primeros periodos, <1981 y 1981-2006, donde las demandas anuales de calefacción y demanda de calor equivalente a la refrigeración se equilibran, podría resultar interesante realizar la simulación de incorporación de instalaciones de energía solar como se vio anteriormente si el perfil de distribución mensual de estas demandas lo hace aconsejable.

Si analizamos la evolución de las demandas térmicas conforme avanza el año de construcción en los hoteles de Madrid, los edificios con una mayor proporción de demanda de ACS respecto al resto de demandas térmicas (29% de promedio), se observa que la demanda de ACS cobra mayor importancia hasta tal punto que pasa de representar un 17%, en años anteriores a 1981, a representar el 33 % de la demanda total del edificio en edificios construidos a partir de 2013. En este caso, la demanda de calefacción baja considerablemente a partir del año de entrada en vigor del CTE, y la demanda de refrigeración se mantiene estable, disminuyendo ligeramente a partir del año 2006.

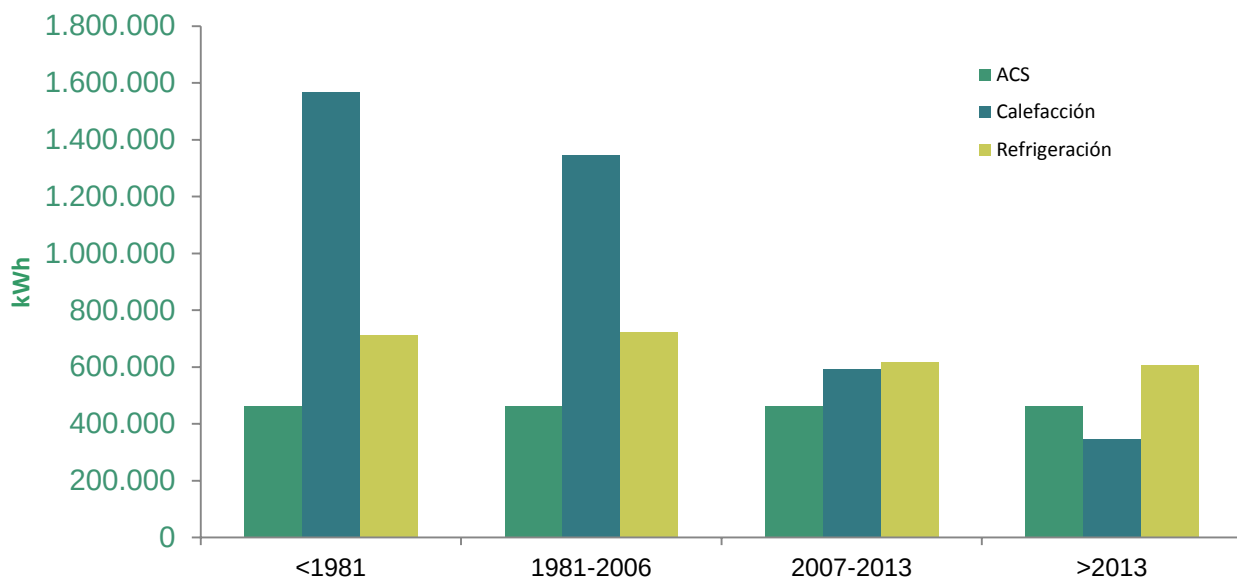


Gráfico 13: Demandas de ACS, calefacción y refrigeración en función del año de construcción en hotel en Madrid

El siguiente gráfico muestra la evolución de las demandas térmicas conforme avanza el año de construcción en los hospitales de Madrid. Al igual que ocurría en el caso de los hoteles, se observa como la demanda de calefacción disminuye drásticamente a partir del año 2007, mientras que la demanda de refrigeración en este caso aumenta ligeramente, llegando a alcanzar valores muy superiores a la demanda de calefacción y a la demanda de ACS. En este caso las demandas anuales térmicas no llegan a igualarse en ninguno de los periodos considerados.

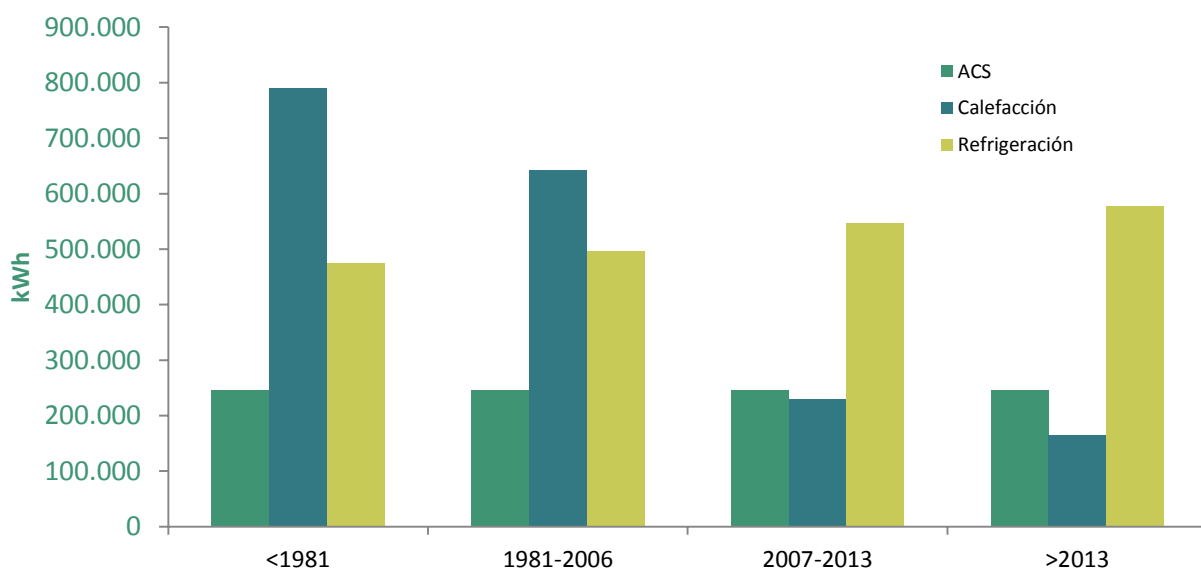


Gráfico 14: Demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración por año de construcción Hospital en Madrid

En los polideportivos, la demanda conjunta de ACS y Piscina es la más alta para todos los periodos considerados, distinguiéndose del resto de las demandas de manera más evidente conforme avanza el tiempo puesto que no se ve afectada por la aplicación de la nueva normativa edificatoria en materia de eficiencia energética manteniéndose constante. Además, los polideportivos son la tipología edificatoria en las que ésta demanda es la más alta de todas, estando comprendida entre un 52 % y un 73 % del total de la demanda térmica del edificio, en función de la localización y el año de construcción considerado.

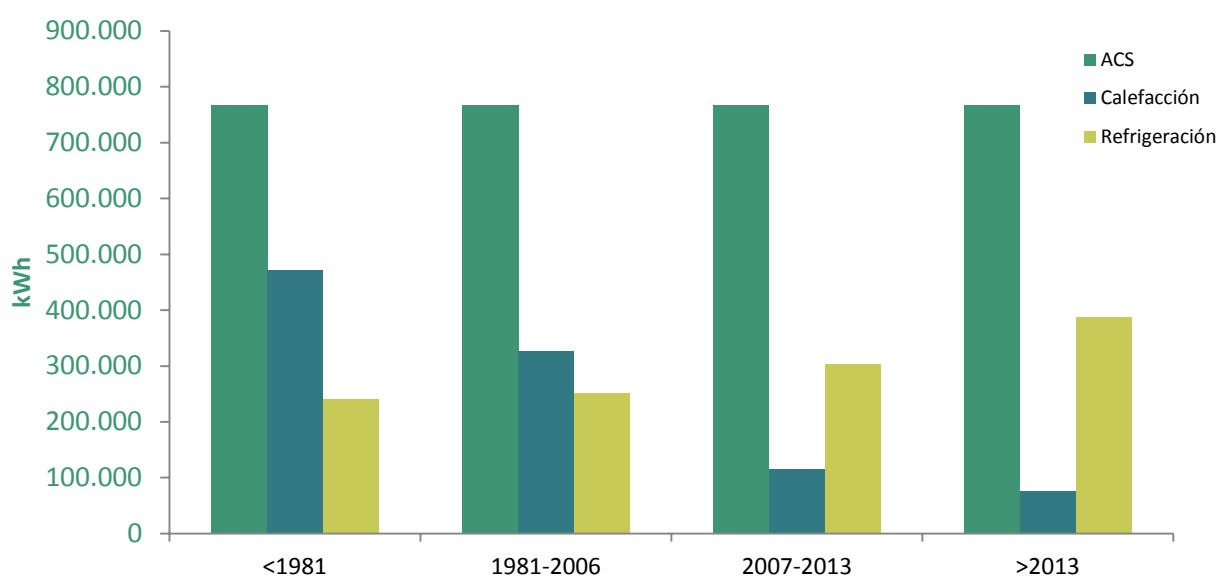


Gráfico 15: Demandas de ACS, piscina, calefacción y refrigeración por año de construcción polideportivo en Madrid

Por último, se analiza cómo evolucionan las demandas térmicas en el sector residencial. En los edificios plurifamiliares de cuatro plantas ubicados en Madrid, la demanda de calefacción disminuye de forma muy significativa especialmente a partir de la entrada en vigor del CTE, hasta llegar a alcanzar a partir del año 2013 un 20 % de la demanda de los edificios construidos antes de 1981. Sin embargo, la demanda de refrigeración no se ve afectada de manera muy sustancial.

A partir del año 2013, las demandas de ACS y calefacción y la demanda de calor equivalente para la refrigeración llegan a alcanzar valores muy parecidos, tal y como se muestra en el gráfico siguiente:



Gráfico 16: Demandas de ACS, Calefacción y refrigeración por año de construcción plurifamiliar 4 plantas en Madrid

Esta situación hace que, como se vio anteriormente, pueda ser interesante plantear la incorporación de una instalación solar térmica para abastecer las tres demandas térmicas en estos edificios a partir del año 2013.

Por último, el siguiente gráfico muestra, a modo de ejemplo, como para un periodo constructivo determinado varían las diferentes demandas en hoteles en función de la localización, en este caso se comparan las demandas de los edificios construidos anteriormente a 1981.

Se aprecia como la demanda de ACS apenas varía con la localización. La demanda de calefacción disminuye conforme disminuye la severidad climática de invierno de la localización hasta el punto de llegar a ser nula en Las Palmas y la demanda de refrigeración aumenta conforme aumenta la severidad climática de verano.

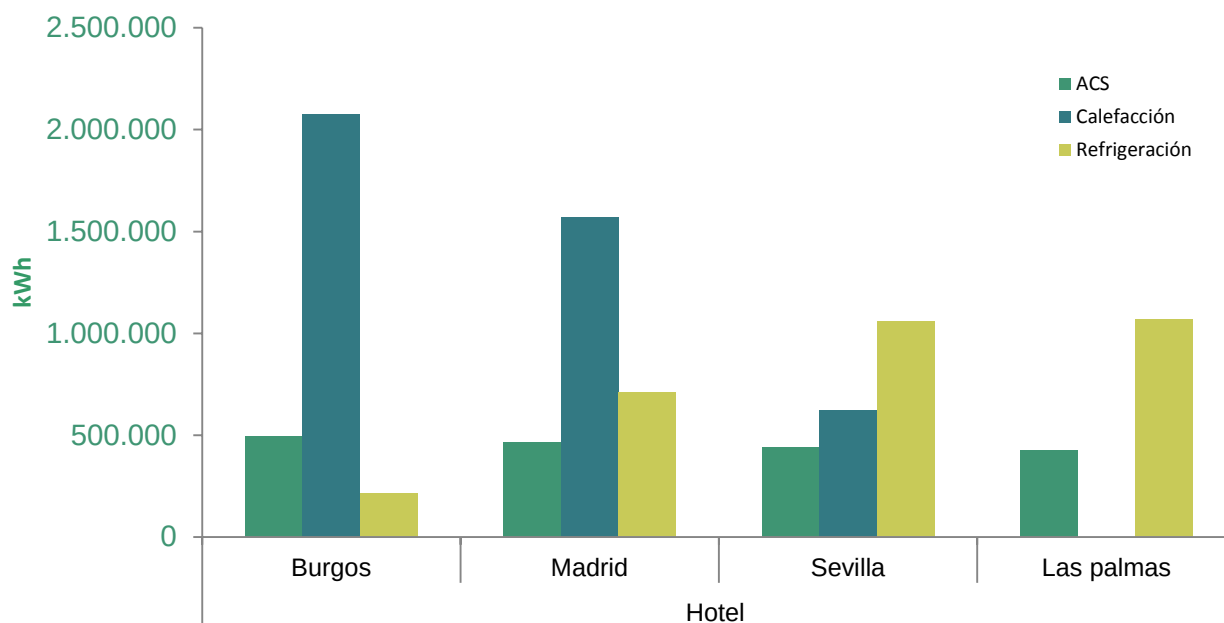


Gráfico 17: Demandas de ACS, Calefacción y refrigeración de hoteles construidos <1981

Aunque del análisis de la distribución de las diferentes demandas anuales energéticas de los edificios, se puedan extraer ciertas conclusiones a la hora de predecir el impacto que la incorporación de instalaciones solares para producción de ACS y climatización de piscina pueda tener en la calificación energética del edificio, cuando se abastecen también las demandas de calefacción y refrigeración, la predicción no es tan evidente.

Aunque los resultados se verán en el apartado 6.4, se realiza a continuación una evaluación de la distribución mensual de las diferentes demandas para determinar su viabilidad técnica. Las opciones de integración de instalaciones solares térmicas para abastecer todas las demandas mejorarán si al agregar las demandas, éstas se presentan de manera uniforme durante todo el año sin presentar discontinuidades, como ocurre en el caso de las demandas de ACS, o si el perfil agregado de demandas se adapta a la capacidad potencial de producción solar.

Cuando las demandas de calefacción y refrigeración se superponen, pueden presentar una demanda térmica constante dado que mientras las primeras disminuyen, las segundas aumentan. Dado que la demanda de refrigeración se cubrirá mediante máquinas de absorción o adsorción, que demandan a su vez energía térmica en forma de calor equivalente, la demanda de calor para producción de frío aumenta durante los meses de verano dando continuidad a la demanda de calor correspondiente a la calefacción.

Para ilustrar lo anteriormente indicado se muestra la distribución mensual de las demandas de ACS, calefacción y refrigeración para un hotel, la tipología edificatoria donde la demanda de ACS representa un mayor porcentaje sobre la demanda térmica total. En este caso se ha representado el caso de un hotel construido en Madrid posteriormente al año 2013:

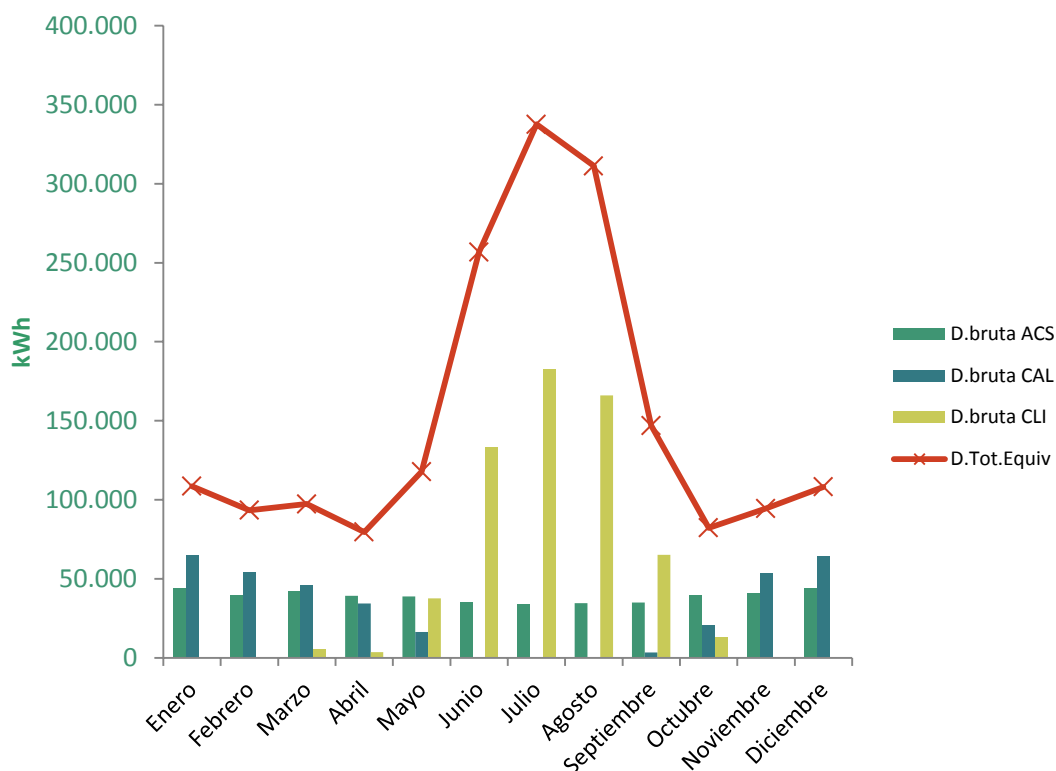


Gráfico 18: Demandas mensuales de ACS, calefacción y refrigeración en un hotel en Madrid >2013

La línea roja muestra la demanda de calor agregada (D.Tot.Equiv) que incluye, además de las demandas térmicas correspondientes al ACS y la calefacción, la demanda de calor equivalente necesaria para satisfacer la demanda de refrigeración mediante máquinas de absorción. Del gráfico se deduce que existe una demanda base casi constante durante todo el año excepto en los meses de verano donde ésta se dispara sensiblemente debido a la aparición de la demanda de refrigeración.

Esta distribución mensual de demandas dificulta que la producción solar, cuyo perfil será muy parecido al de la curva de radiación solar, se adapte correctamente al perfil de demanda sin que existan excedentes de producción en primavera y otoño. Si se pretende que la instalación solar no desaproveche toda la energía generada, la curva de producción solar superpuesta a la de demanda debería no debería superar nunca la demanda, como se muestra en la figura siguiente.

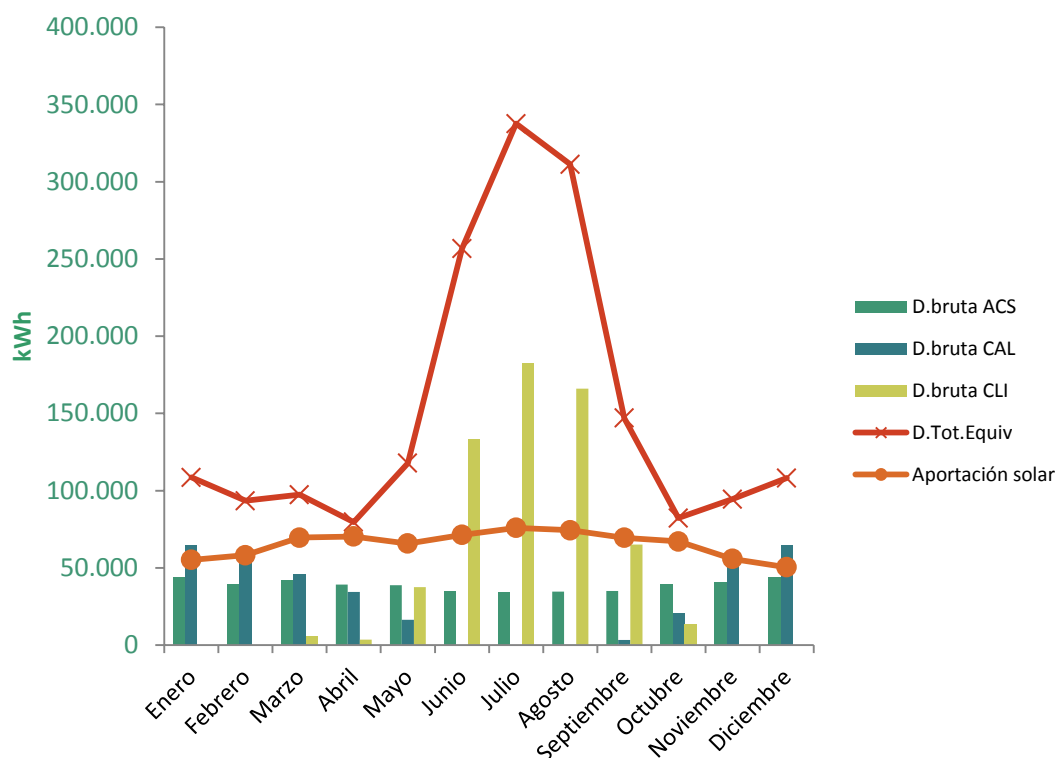


Gráfico 19: Aportación solar y demandas mensuales de ACS, calefacción y refrigeración en un hotel en Madrid >2013

En este caso, existiría una gran parte de la demanda de refrigeración que no podría ser abastecida por la instalación solar sin incurrir en excesos de producción en primavera y otoño.

Por otro lado, se debe buscar que la instalación solar propuesta disponga del mayor rendimiento posible, es decir, que suponga la máxima producción solar por m². Para ello, como se ha visto en el apartado de simulaciones, se buscará que las instalaciones solares que abastezcan todas las demandas térmicas dispongan de un rendimiento solar, entendido este como el cociente entre la producción solar y la radiación solar recibida, lo más alto posible, y que además la contribución sobre la demanda de ACS cumpla con lo establecido en la sección HE4 del CTE.

6.2 Consideraciones sobre la calificación energética de los edificios

Una vez analizada la distribución de las demandas de ACS, calefacción y refrigeración, y piscina en su caso, en los diferentes tipos de edificio, localizaciones y periodos constructivos, se procede a analizar la calificación energética obtenida en todos los casos estudiados.

Se mostrará en los gráficos siguientes tan solo el valor del indicador de emisiones globales de CO₂ por m², y no la letra obtenida, después de calificar energéticamente los edificios con el programa CE3X, ya que la escala de emisiones varía en cada caso y realizar una comparativa basándose solo en la letra no sería posible. Además, no se podrían cuantificar las diferencias, en cuanto a eficiencia energética, entre los distintos edificios, ubicación y año de construcción considerados.

En la siguiente tabla se muestran, por un lado, los valores de emisiones promedio para todas las tipologías edificatorias y localizaciones por periodo constructivo considerado, y por otro, la reducción de emisiones conforme aumenta el año de construcción medidas en relación a los edificios construidos antes de 1981, los edificios que mayores emisiones por m² presentan. La reducción de emisiones conseguida en los edificios construidos posteriormente a 2013 alcanza el 67%.

Promedio emisiones		
Año de construcción	(kgCO ₂ /m ²)	Reducción emisiones
<1981	48	0%
1981-2006	40	15%
2007-2013	24	50%
>2013	16	67%

Tabla 38: Comparativa emisiones de CO₂ promedio en función del año de construcción

La siguiente tabla muestra las emisiones de CO₂ obtenidas como promedio para todas las localizaciones para cada periodo constructivo considerado.

Emisiones (kgCO ₂ /m ²)	<1981	1981 2006	2007 2013	>2013	Promedio edificio
Unifamiliar	66	53	28	13	40
Plurifamiliar 4	57	47	25	11	35
Plurifamiliar 8	41	34	18	10	26
Oficina 4	41	36	32	19	32
Oficina 8	32	29	22	15	25
Polideportivo	66	60	36	31	48
Hospital	53	48	22	11	33
Hotel	45	41	22	17	31
Centro comercial	30	23	18	18	23
Promedio año	48	41	25	16	

Tabla 39: Emisiones de CO₂ promedio por tipología edificatoria y año de construcción

Los edificios que mayores emisiones promedio para todos los periodos constructivos presentan son los Polideportivos seguidos por las viviendas unifamiliares, los plurifamiliares de 4 plantas y los hospitales.

Las viviendas unifamiliares construidas en Burgos y Madrid, seguidas por los hoteles y polideportivos construidos en Burgos antes de 1981, son los edificios que presentan los valores más altos de emisiones, superando los 70 kg CO₂/m².año. Sin embargo, los edificios que disponen de peor calificación energética, en cuanto a letra se refiere, son los hospitales. Los hospitales construidos en Madrid antes de 1981 y en Sevilla antes de 2006 disponen de una calificación energética de letra G. Los hospitales construidos en Madrid antes del año 2006 y los construidos en Burgos entre el año 1981 y 2006 disponen de una letra F. El resto de edificios dispone de una calificación energética con letras iguales o superiores a la E.

Los edificios con menores niveles de emisión, con valores inferiores a los 4 kgCO₂/m².año, son los edificios plurifamiliares de 8 plantas construidos en Sevilla posteriormente a 2013 seguidos por las viviendas unifamiliares y edificios plurifamiliares 4 plantas construidos también en Sevilla y posteriormente a 2013, que presentan niveles de emisiones inferiores a 8 kgCO₂/m².año.

Los únicos edificios que presentan una calificación energética con letra A son los centros comerciales construidos posteriormente a 2006 en todas las localidades y los hospitales y los edificios de oficinas de 8 plantas construidos en Burgos en años posteriores a 2013.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de reducción de emisiones por tipología edificatoria obtenido en cada periodo constructivo respecto al periodo más antiguo considerado.

	<1981	1981 2006	2007 2013	>2013
Unifamiliar	0%	27%	62%	81%
Plurifamiliar 4	0%	17%	57%	81%
Plurifamiliar 8	0%	18%	55%	77%
Oficina 4	0%	12%	20%	54%
Oficina 8	0%	10%	31%	52%
Polideportivo	0%	9%	45%	53%
Hospital	0%	9%	59%	80%
Hotel	0%	9%	60%	67%
Centro comercial	0%	22%	39%	39%
Promedio	0%	15%	48%	65%

Tabla 40: Reducción de emisiones de CO₂ promedio por tipología edificatoria y año de construcción

La tipología edificatoria donde más se aprecia la mejora de la eficiencia energética obtenida tras la aplicación de los códigos constructivos, son los edificios residenciales unifamiliares, plurifamiliares de 4 plantas, seguidos por los hospitales y edificios residenciales de 8 plantas, donde la diferencia entre las emisiones obtenidas en los edificios construidos anteriormente a 1981 y los construidos posteriormente a 2013 son superiores al 70 %.

Donde menos se aprecia la entrada en vigor de la citada normativa es en los centros comerciales donde la disminución de emisiones es inferior al 40% seguido por los edificios de oficinas de 8 y 4 plantas donde la disminución de emisiones es algo superior al 50%. Más adelante se analizará este efecto de forma detallada para algunas localizaciones específicas.

Como se explicaba anteriormente en el apartado 5 de “*Metodología*”, para algunas tipologías edificatorias, localidades y años determinados, se han evaluado casos adicionales que consideran sistemas de generación de calor alternativos a los considerados en el resto de casos base como variantes representativas de su situación real edificatoria. Por ejemplo, variantes de edificios cuyos generadores de calor utilizan gasóleo en lugar de gas natural, gas natural en lugar de electricidad, etc...

Las siguientes tablas muestran la distribución de las diferentes demandas térmicas de cada tipología edificatoria por periodo constructivo, y localización:

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	6%	94%	0%	85,1 E
	<1981 gasóleo	6%	94%	0%	105 F
	1981-2006	8%	92%	0%	68,3 E
	2007-2013	11%	89%	0%	38,6 D
	>2013	21%	79%	0%	17,6 B
Madrid	<1981	6%	83%	10%	78,4 E
	1981-2006	8%	82%	10%	59,0 E
	2007-2013	11%	77%	11%	29,5 C
	>2013	21%	62%	17%	14,3 B
Sevilla	<1981	14%	58%	28%	34,3 E
	1981-2006	16%	56%	28%	31,5 E
	2007-2013	21%	44%	35%	16,5 C
	>2013	37%	21%	42%	7,3 B
	>2013 Gas Natural	32%	22%	46%	7,2 B

Tabla 41: Reparto de demandas y calificación energética en viviendas unifamiliares

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	12%	88%	0%	74,3 E
	1981-2006	14%	86%	0%	60,3 E
	2007-2013	20%	80%	0%	33,1 D
	>2013	38%	62%	0%	14,4 B
Madrid	<1981	12%	75%	12%	63,5 E
	1981-2006	14%	73%	13%	52,3 E
	2007-2013	20%	66%	15%	27,6 D
	>2013	36%	43%	22%	12,3 B
Sevilla	<1981	20%	51%	30%	34,6 E
	1981-2006	21%	48%	31%	30,0 E
	2007-2013	29%	36%	34%	14,1 D
	>2013	46%	9%	45%	6,7 B

Tabla 42: Reparto de demandas y calificación energética en viviendas plurifamiliar 4 plantas

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef	Refrig	
Burgos	<1981	8%	92%	0%	54,2 E
	<1981 central	9%	91%	0%	43 E
	1981-2006	9%	91%	0%	44 E
	2007-2013	13%	87%	0%	24,9 D
	>2013	22%	79%	0%	12,9 B
Madrid	<1981	8%	78%	14%	46,1 E
	<1981 central	9%	77%	14%	37,3E
	1981-2006	9%	76%	15%	37,8 E
	2007-2013	13%	71%	16%	21 C
	>2013	21%	60%	19%	11 B
Sevilla	<1981	13%	52%	35%	23,6 E
	1981-2006	14%	49%	37%	20,4 E
	2007-2013	8%	92%	0%	10,4 C
	>2013	9%	91%	0%	5,5 B

Tabla 43: Reparto de demandas y calificación energética en viviendas plurifamiliar 8 plantas

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	4%	87%	9%	48,1 E
	1981-2006	4%	82%	14%	41,8 D
	2007-2013	4%	67%	29%	34,3 C
	>2013	6%	60%	34%	18,8 B
Madrid	<1981	3%	66%	31%	42 D
	1981-2006	4%	61%	36%	37,6 D
	2007-2013	4%	46%	50%	33,5 C
	>2013	5%	31%	64%	19,2 B
Sevilla	<1981	4%	34%	62%	32 D
	1981-2006	4%	32%	64%	29,7 D
	2007-2013	4%	17%	79%	30,4 C
	>2013	4%	7%	89%	19,3 B

Tabla 44: Reparto de demandas y calificación energética en oficina 4 plantas

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	4%	85%	11%	36,8 D
	1981-2006	5%	80%	15%	32,2 D
	2007-2013	6%	53%	41%	21,7 B
	>2013	7%	42%	51%	14,4 A
Madrid	<1981	4%	60%	36%	33,5 D
	1981-2006	4%	56%	40%	30,1 D
	2007-2013	5%	32%	63%	23,2 B
	>2013	5%	22%	72%	15,8 B
Sevilla	<1981	5%	28%	68%	27 D
	1981-2006	4%	25%	70%	24,8 C
	2007-2013	4%	8%	88%	22,9 C
	>2013	4%	6%	90%	17,3 B

Tabla 45: Reparto de demandas y calificación energética en oficina 8 plantas

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	17%	71%	12%	58,8 F
	1981-2006	20%	65%	15%	52,5 F
	2007-2013	30%	37%	34%	21,6 B
	>2013	32%	29%	39%	10,8 A
Madrid	<1981	16%	52%	31%	55,9 G
	1981-2006	18%	46%	36%	50,7 F
	2007-2013	24%	22%	54%	22,4 C
	>2013	25%	17%	58%	11,3 B
Sevilla	<1981	19%	23%	58%	45,6 G
	1981-2006	20%	20%	60%	42,8 G
	2007-2013	22%	6%	72%	22,5 C
	>2013	22%	5%	73%	11,1 B

Tabla 46: Reparto de demandas y calificación energética en hospital

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	54%	43%	3%	72,3 D
	<1981 gasóleo	54%	43%	3%	85,9 E
	1981-2006	62%	33%	5%	63,3 D
	1981-2006	62%	33%	5%	74,8 D
	2007-2013	73%	13%	14%	41,2 B
	>2013	71%	9%	20%	33,6 B
Madrid	<1981	52%	32%	16%	68,6 D
	<1981 gasóleo	52%	32%	16%	80,1 D
	1981-2006	57%	24%	19%	62 C
	1981-2006 gasóleo	57%	24%	19%	72 D
	1981-2006	65%	10%	26%	35,7 B
	2007-2013	62%	6%	31%	31,9B
	>2013	54%	43%	3%	57,4 C
Sevilla	<1981	54%	43%	3%	65,4 D
	<1981 gasóleo	62%	33%	5%	54,5 C
	1981-2006	62%	33%	5%	62,1 C
	1981-2006 gasóleo	73%	13%	14%	33,5 B
	2007-2013	71%	9%	20%	29,9 B
	>2013	52%	32%	16%	72,3 D

Tabla 47: Reparto de demandas y calificación energética en polideportivo

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	18%	75%	8%	58,8 F
	1981-2006	20%	70%	10%	52,5 F
	2007-2013	32%	53%	15%	21,6 B
	>2013	39%	44%	16%	10,8 A
Madrid	<1981	17%	57%	26%	55,9 G
	1981-2006	18%	53%	29%	50,7 F
	2007-2013	28%	35%	37%	22,4 C
	>2013	33%	24%	43%	11,3 B
Sevilla	<1981	21%	29%	50%	45,6 G
	1981-2006	21%	27%	52%	42,8 G
	2007-2013	31%	9%	61%	22,5 C
	>2013	74%	11%	15%	11,1 B
Las Palmas	<1981	28%	0%	72%	48,5 D
	1981-2006	28%	0%	72%	46,4 D
	2007-2013	29%	0%	71%	32,8 C
	>2013	30%	0%	70%	26,5 B

Tabla 48: Reparto de demandas y calificación energética en hotel

Localidad	Año	Reparto de demanda			Calificación CE3X
		ACS	Calef.	Refrig.	
Burgos	<1981	0%	95%	5%	37,7 E
	1981-2006	0%	91%	9%	27 D
	2007-2013	0%	73%	27%	20,5 A
	>2013	0%	53%	47%	19,4 A
Madrid	<1981	0%	69%	30%	32,2 D
	1981-2006	0%	63%	37%	25,3 C
	2007-2013	0%	47%	53%	19,5 A
	>2013	0%	36%	64%	19,1 A
Sevilla	<1981	0%	36%	64%	21,2 C
	1981-2006	0%	30%	69%	18,6 C
	2007-2013	0%	20%	79%	16,2 A
	>2013	0%	95%	5%	17,2 A

Tabla 49: Reparto de demandas y calificación energética en centro comercial

A continuación, se comparan las emisiones obtenidas entre diferentes tipologías edificatorias para las localizaciones de Madrid, Burgos y Sevilla. Para realizar esta comparativa se ha seleccionado los años de construcción anteriores a 1981.

El siguiente gráfico muestra los valores de emisiones obtenidos para todas las tipologías edificatorias en Madrid:

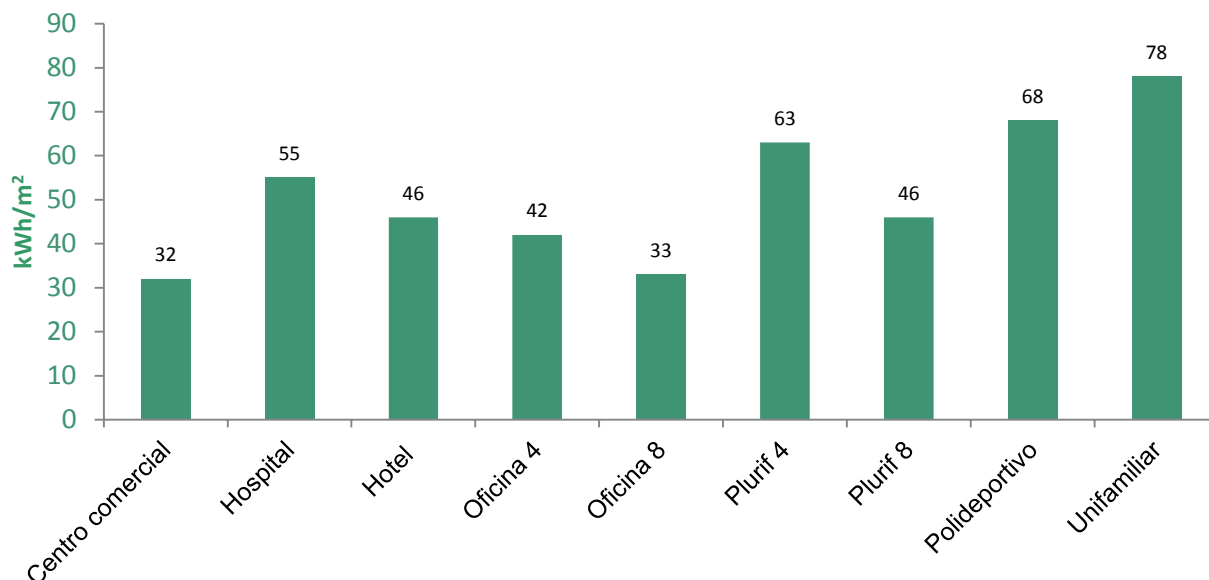


Gráfico 20: Emisiones CO₂ para diferentes tipologías edificatorias en Madrid año de construcción <1981

Los edificios que presentan mayores emisiones son en este caso las viviendas unifamiliares, seguidos por los polideportivos y los edificios plurifamiliares de 4 plantas. Los edificios que menores emisiones presentan son los centros comerciales y los edificios de oficinas de 8 plantas.

Se aprecia que los edificios plurifamiliares de 4 plantas tienen mayores emisiones, más de un 20 %, que los edificios de 8 plantas. Un efecto parecido ocurre en el caso de los edificios de oficinas, donde los edificios de 4 plantas presentan también mayores emisiones que los de mayor tamaño. Este hecho se debe principalmente a la mayor compacidad que presentan los edificios de mayor tamaño respecto a los más pequeños. La relación entre volumen y superficie para la geometría considerada en los edificios plurifamiliares de 8 plantas es de 0,85 mientras que la de los de 4 plantas es de 0,6. Es decir, que para un mismo volumen los edificios de 4 plantas tienen una mayor superficie de contacto con el exterior. Existen otros aspectos, además de la compacidad, que también podrían influir en las diferencias observadas. Una diferente geometría podría afectar a la influencia que los puentes térmicos tendrían en el resultado, una mayor altura del edificio podría afectar a la radiación solar que penetrase por los huecos, etc.

En el gráfico siguiente se muestra como, en el caso de los edificios construidos en Burgos antes de 1981, los edificios que mayores emisiones de CO₂ presentan son las viviendas unifamiliares que utilizan gas natural (para el caso de instalación con gasóleo las emisiones serían un 20% superiores), seguidos por los edificios plurifamiliares de 4 plantas y por los polideportivos.

Los edificios con mejor calificación energética son los centros comerciales y los edificios de oficinas de 8 plantas.

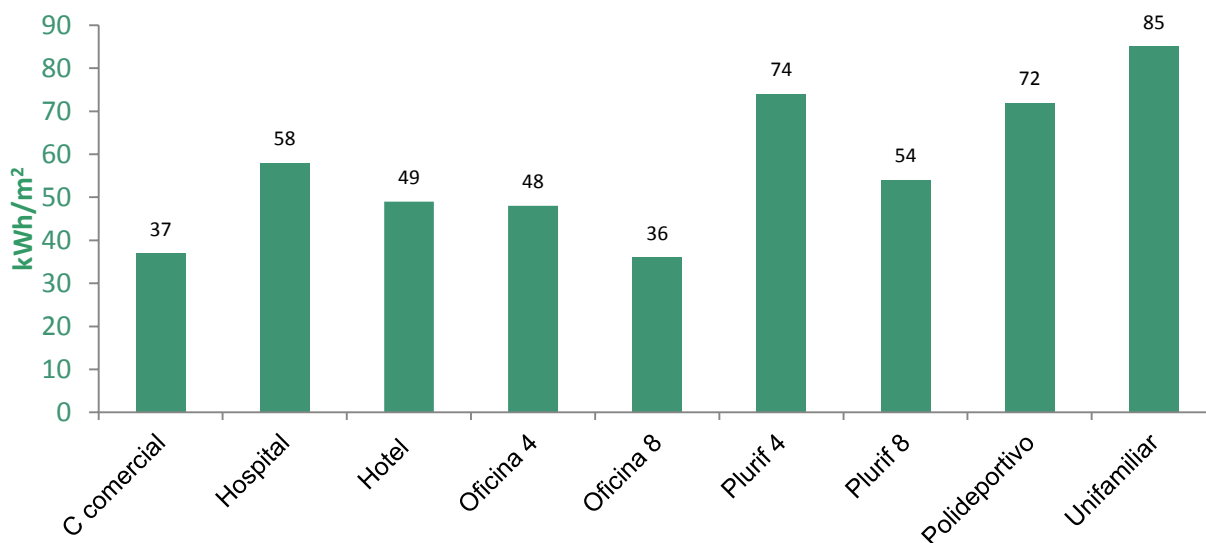


Gráfico 21: Emisiones CO₂ para diferentes tipologías edificatorias en Burgos año de construcción <1981.

En Sevilla, los edificios construidos antes de 1981 con peor calificación energética, son en orden los polideportivos, hospitales y hoteles. Se aprecia un claro contraste con respecto a las otras localizaciones consideradas ya que en este caso los edificios residenciales presentan una mejor eficiencia que otros edificios del sector terciario. Los edificios con menores emisiones son los centros comerciales seguidos por los plurifamiliares de 8 plantas y los edificios de oficinas de 8 plantas.

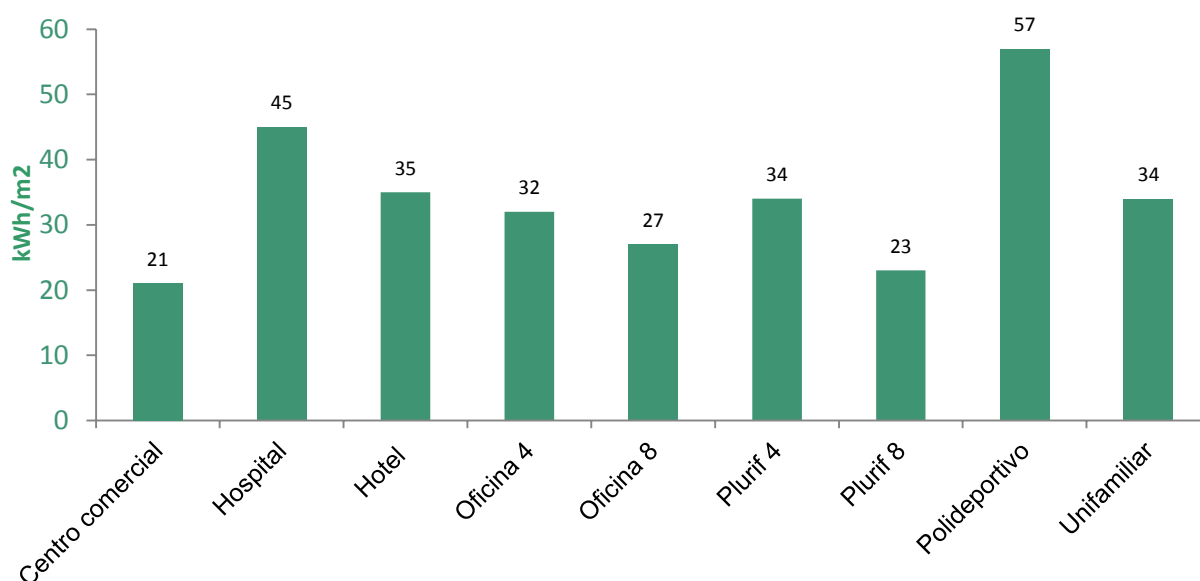


Gráfico 22: Emisiones CO₂ para diferentes tipologías edificatorias en Sevilla año de construcción <1981.

Las emisiones de las viviendas unifamiliares de Sevilla comparadas con las de Madrid son del orden de un 49 % más bajas. En el caso de los edificios plurifamiliares las emisiones disminuyen más de un 40 %.

A continuación, se compara en el mismo gráfico la evolución de emisiones para todas las tipologías edificatorias entre los años de construcción anteriores a 1981 y posteriores a 2013 para cada localización.

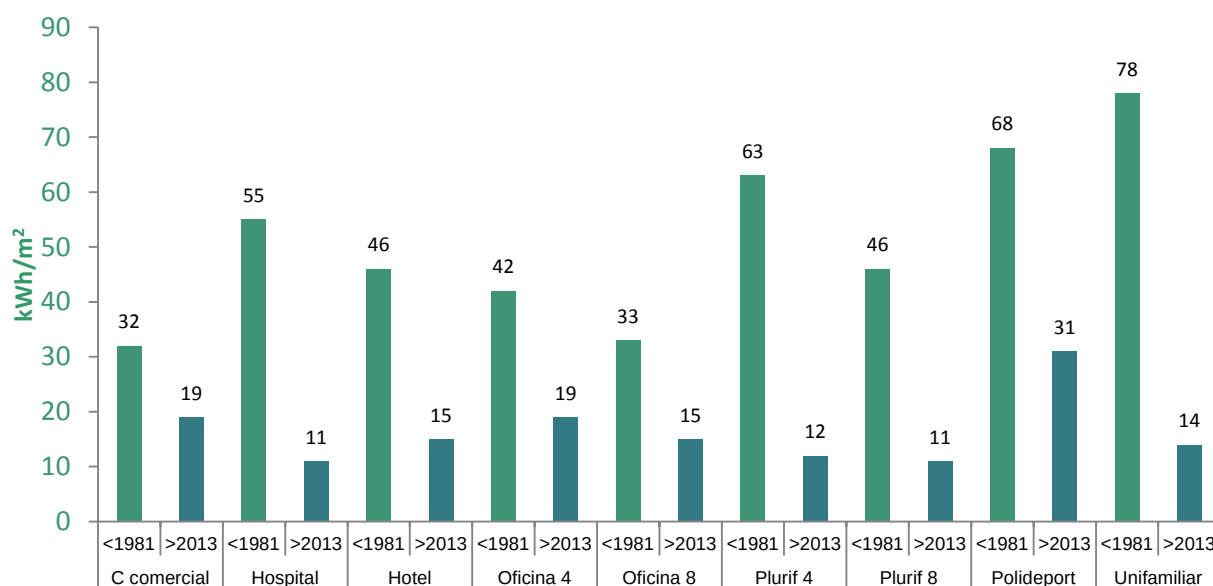


Gráfico 23: Comparativa emisiones CO2 para diferentes tipologías edificatorias en Madrid año de construcción < 1981 vs >2013

En Madrid, las tipologías edificatorias donde mayores reducciones de emisiones se producen debido a la implementación de la nueva normativa constructiva, son las viviendas unifamiliares, plurifamiliares de 4 plantas y hospitales, donde las emisiones se reducen más de un 80 %. Donde menos se aprecia este efecto es en los centros comerciales donde la reducción de emisiones solo alcanza el 41 %. En Burgos, según se muestra en el siguiente gráfico, los edificios donde mayor reducción de emisiones se consigue son los hospitales, edificios plurifamiliares de 4 plantas y las viviendas unifamiliares, donde las emisiones disminuyen más de un 80 %. Los edificios donde menos se reducen son los centros comerciales donde la reducción de emisiones no llega al 50 %.

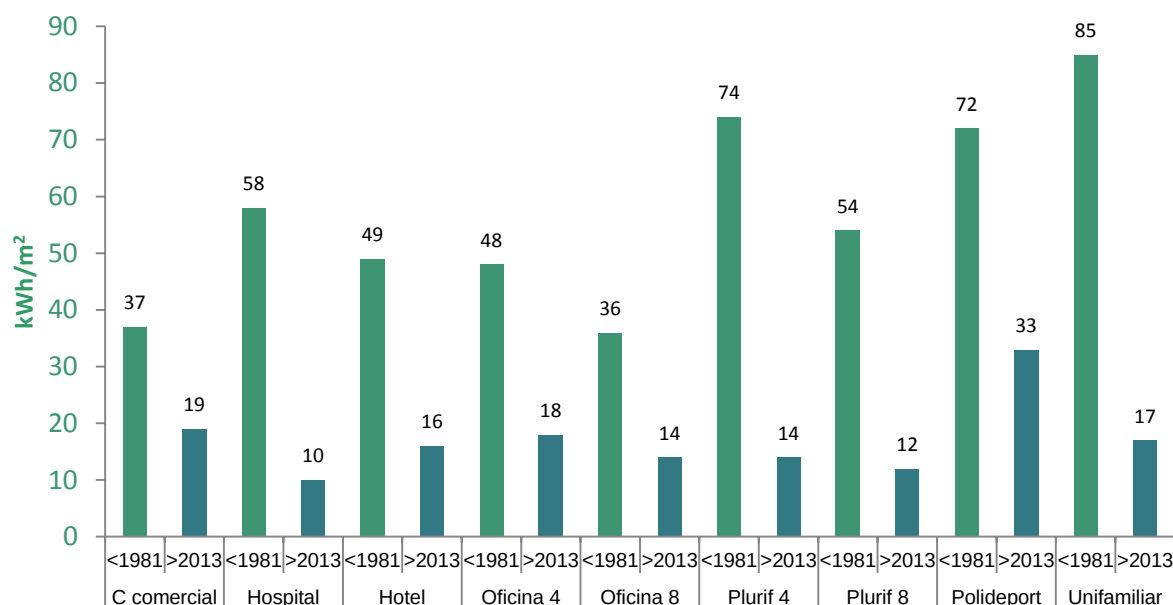


Gráfico 24: Comparativa emisiones CO₂ para diferentes tipologías edificatorias en Burgos año de construcción < 1981 vs > 2013

En Sevilla, los edificios donde más se reducen las emisiones son los edificios residenciales de 4 plantas, donde se alcanza un 80%, seguidos por las viviendas unifamiliares plurifamiliares de 8 plantas y hospitales. Los edificios donde menos se ven reducidas las emisiones son los centros comerciales y edificios de oficinas de 4 plantas.

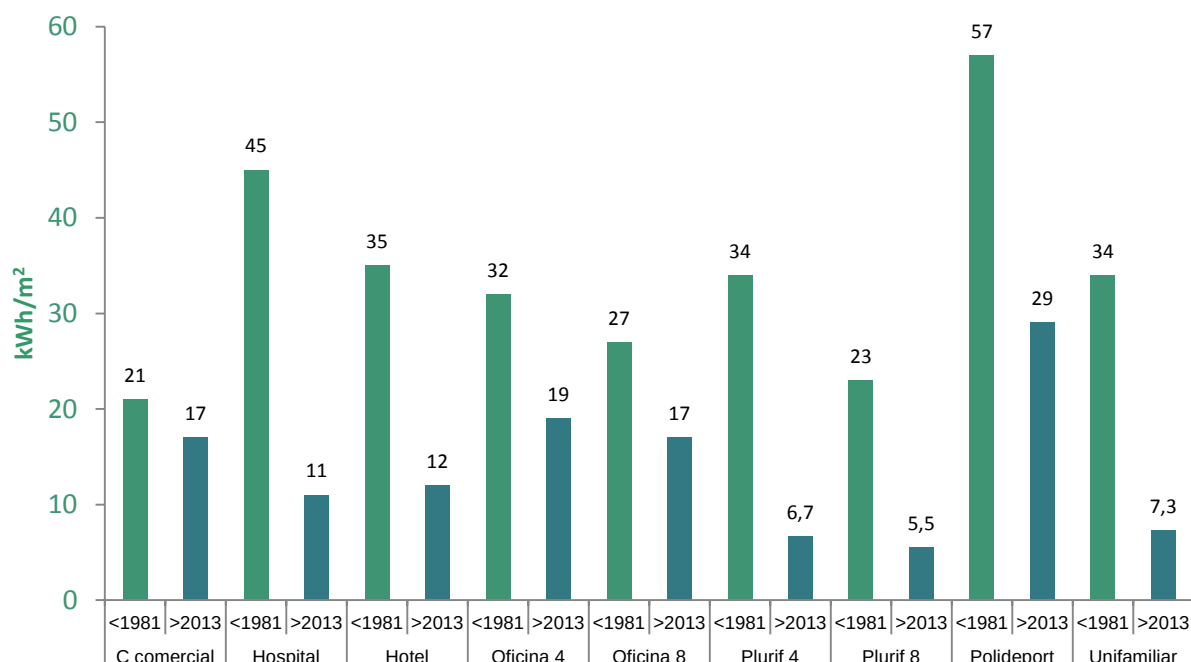


Gráfico 25: Comparativa emisiones CO₂ para diferentes tipologías edificatorias en Sevilla año de construcción < 1981 vs > 2013

Si analizamos la evolución de las emisiones conforme avanza el año de construcción, se aprecia como a partir de la entrada en vigor del CTE la disminución de emisiones es mucho más acusada. Hay que tener en cuenta que la influencia de la entrada en vigor de la sección HE del CTE no solo incide en la disminución de las demandas de calefacción y refrigeración, sino también en los consumos energéticos asociados a cada demanda, debido a los nuevos requisitos mínimos de rendimiento exigidos a los equipos de generación y a la contribución solar mínima para ACS establecida en el HE4. En este último caso, a pesar de que la demanda de ACS propiamente dicha, no se verá alterada conforme avance el año de construcción, el efecto de la contribución solar sobre ella será tanto más notable cuanto mayor importancia tenga la demanda de ACS sobre la demanda térmica total.

A continuación, se ilustra cómo evolucionan las emisiones en función del año de construcción únicamente en las tipologías edificatorias donde más han disminuido éstas. En el gráfico siguiente se muestra cómo evolucionan las emisiones en el caso de un edificio plurifamiliar de cuatro plantas en Madrid, uno de los edificios que mayores emisiones presentaban antes de 1981. Las emisiones disminuyen un 81% en los edificios construidos posteriormente a 2013 si los comparamos con los construidos anteriormente a 1981.

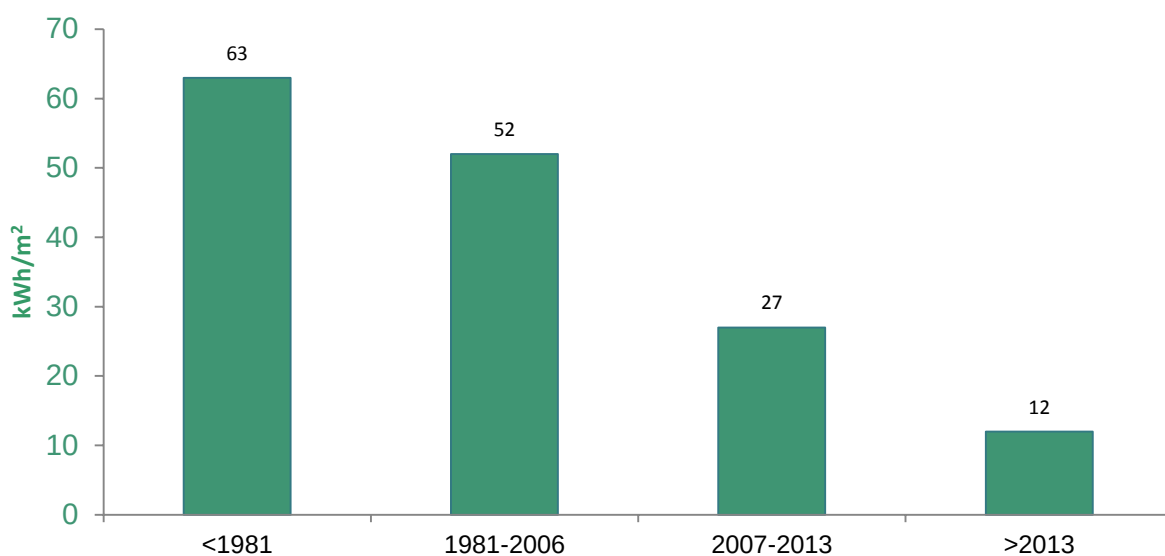


Gráfico 26: Evolución emisiones CO2 para edificio plurifamiliar de 4 plantas en Madrid



Gráfico 27: Evolución demandas térmicas para edificio plurifamiliar de 4 plantas en Madrid

En el gráfico anterior se puede observar el efecto del cumplimiento de las exigencias de eficiencia energética en el edificio de forma separada para cada tipo de demanda. La demanda que disminuye de manera más significativa es la demanda de calefacción, que se ve reducida en un 80%, mientras que la demanda de refrigeración, disminuye un 40% entre los edificios construidos en 1981 y los construidos en 2013. En este caso, aunque la demanda de ACS es idéntica en los cuatro periodos constructivos, el consumo energético asociado a esta, y por tanto sus emisiones, se ven disminuidas un 60% en los edificios construidos entre 2007 y 2013 y un 50 % para aquellos construidos a partir de 2013 debido a la contribución solar mínima exigida en la sección HE4 del CTE.

En el siguiente gráfico se muestra la evolución de las emisiones en viviendas unifamiliares en Madrid en función del año de construcción. El edificio que mayor emisiones presenta es el caso particular que utiliza gasóleo los años anteriores a 1981. En este caso las emisiones en los edificios construidos a partir de 2013 presenta unas emisiones un 82 % menores que las de los edificios construidos antes de 1981.

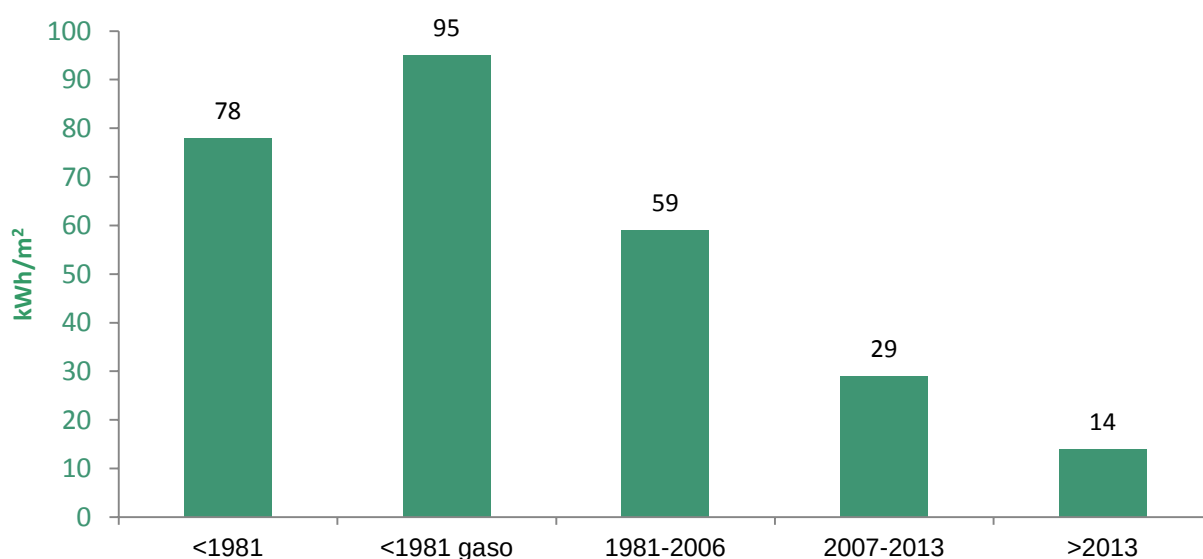


Gráfico 28: Evolución emisiones CO₂ para edificio unifamiliar en Madrid

En el siguiente gráfico se analiza de forma diferenciada cómo evolucionan las distintas demandas térmicas con el año de construcción. Comparando los edificios construidos entre los años posteriores a 2013 y anteriores a 1981, se aprecia como la demanda de calefacción disminuye un 78 % mientras que la de refrigeración lo hace un 52 %.

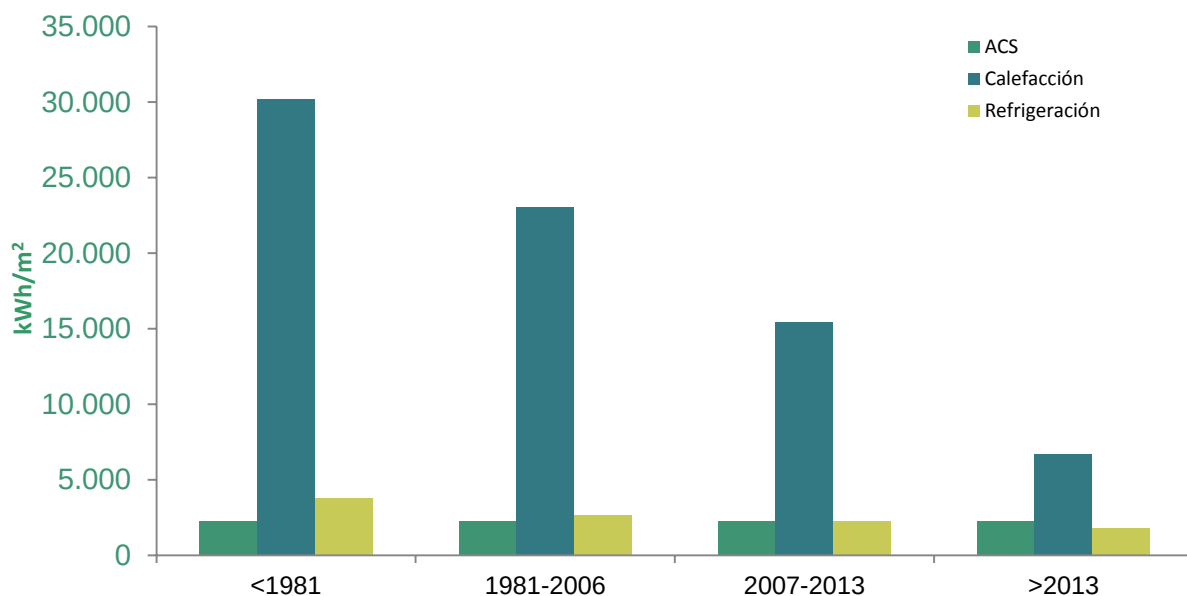


Gráfico 29: Evolución demandas térmicas para edificio unifamiliar en Madrid

Como se mencionó en el apartado correspondiente a la metodología, adicionalmente a los casos base considerados, se ha analizado también el efecto de la utilización de sistemas alternativos de generación de calor para determinadas tipologías edificatorias, ya que se ha considerado que podrían resultar más representativos de la situación real.

En viviendas unifamiliares construidas en Burgos y Madrid antes de 1981 se han considerado sistemas de generación de ACS y calefacción de gasóleo alternativos a los sistemas alimentados por gas natural. En estos dos casos los niveles de emisiones son 105 y 85 kgCO₂/m².año, las más altas de todos los casos analizados. Las emisiones de las viviendas con gasóleo son un 24 % más altas que en el caso con gas natural.

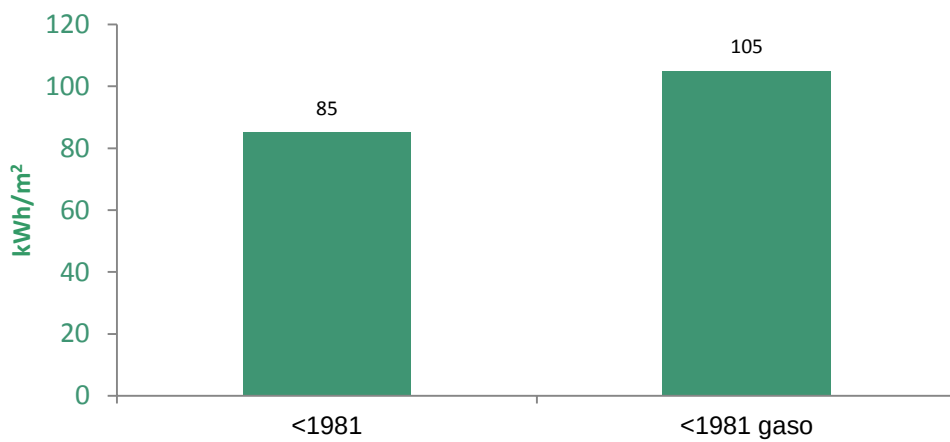


Gráfico 30: Emisiones para viviendas unifamiliar en la localidad de Burgos anterior a 1981 instalación gasóleo vs gas natural

Las emisiones de CO₂ en el caso de las viviendas unifamiliares que utilizan gasóleo en Madrid son un 22 % más altas que en el caso de gas natural.

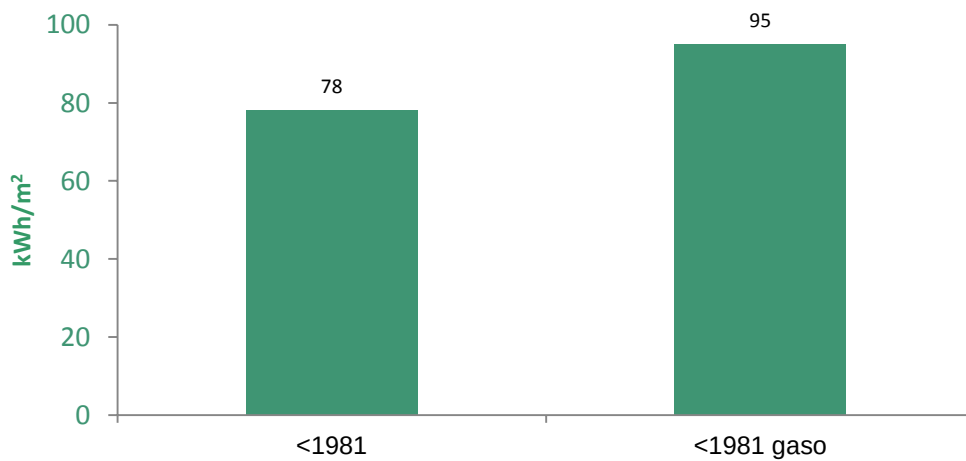


Gráfico 31: Emisiones para viviendas unifamiliar en la localidad de Madrid anterior a 1981 instalación gasóleo vs Gas Natural

En las viviendas unifamiliares construidas a partir de 2013 en Sevilla, se consideraron dos tipos de sistemas de generación de calor, termos eléctricos y bombas de calor, para abastecer las demandas de ACS y calefacción respectivamente, y también calderas mixtas de gas natural. La diferencia en cuanto a emisiones entre ambas alternativas es inferior al 7 %.

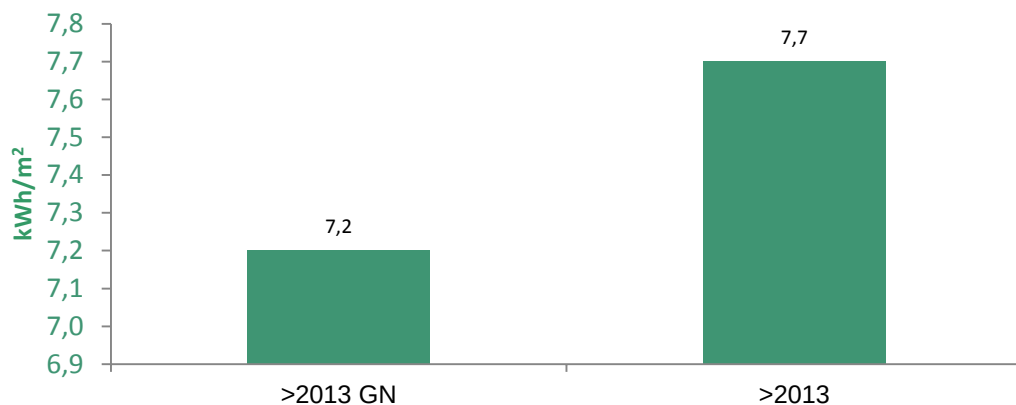


Gráfico 32: Emisiones para viviendas unifamiliar en la localidad de Sevilla posterior a 2013 instalación eléctrica vs gas natural

En los dos siguientes gráficos se analiza cómo evolucionan con el año de construcción las diferentes demandas térmicas del edificio y las emisiones de CO₂ en los hospitales construidos en Madrid. En este caso la demanda de ACS supone una parte importante de la demanda térmica total del edificio y las consecuencias de la incorporación de la contribución solar deberían de apreciarse de manera más acusada. Las emisiones caen un 80 % si comparamos los edificios construidos anteriormente a 1981 con los construidos posteriormente a 2013:

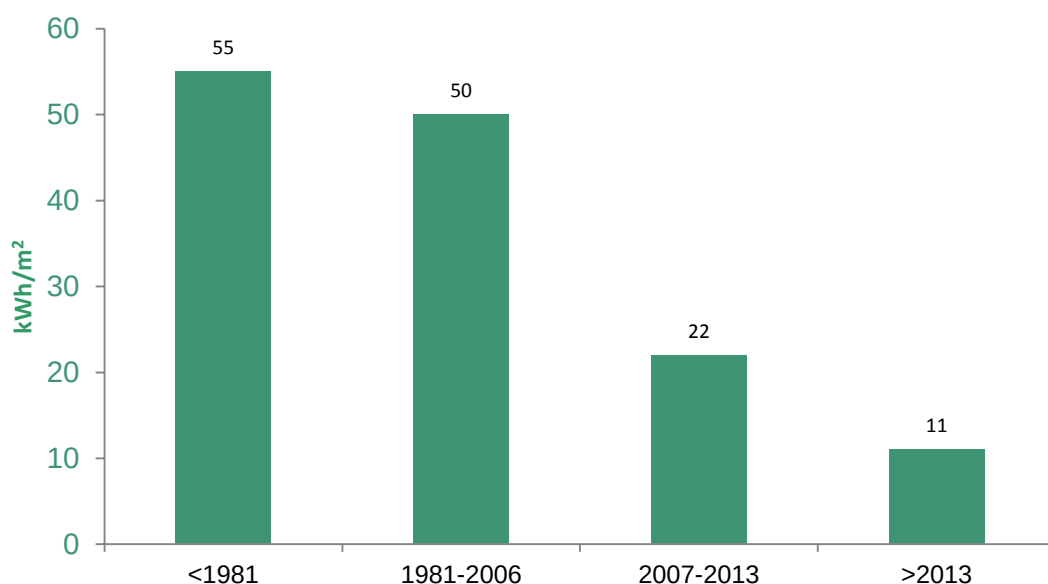


Gráfico 33: Evolución emisiones CO₂ para hospital en Madrid

En este caso la demanda de calefacción disminuye un 80 % y la de refrigeración aumenta un 21%. La aportación solar a ACS para los edificios construidos posteriormente a 2006 supone una reducción del consumo de energía para esa aplicación del 70 %.

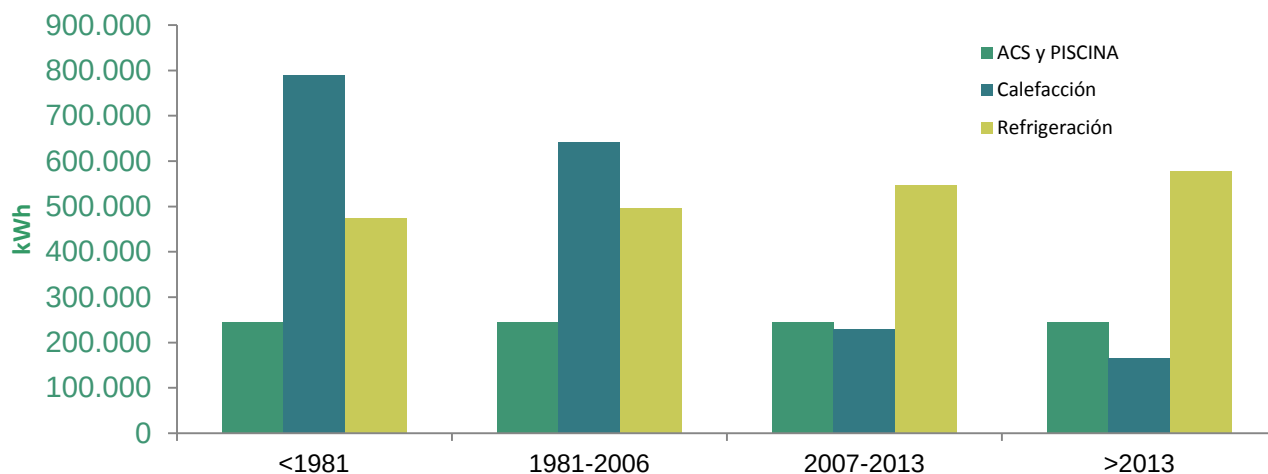


Gráfico 34: Evolución demandas térmicas para Hospital en Madrid

Si estudiamos el caso de hospital en Sevilla, y lo comparamos por ejemplo con el caso de Madrid, se aprecia como partiendo de valores menores de emisiones para construcciones anteriores a 1981, se llega a alcanzar el mismo nivel de emisiones que en el caso de Madrid para aquellos edificios construidos posteriormente al año 2013. En este caso la reducción de emisiones alcanzada es del 76%.

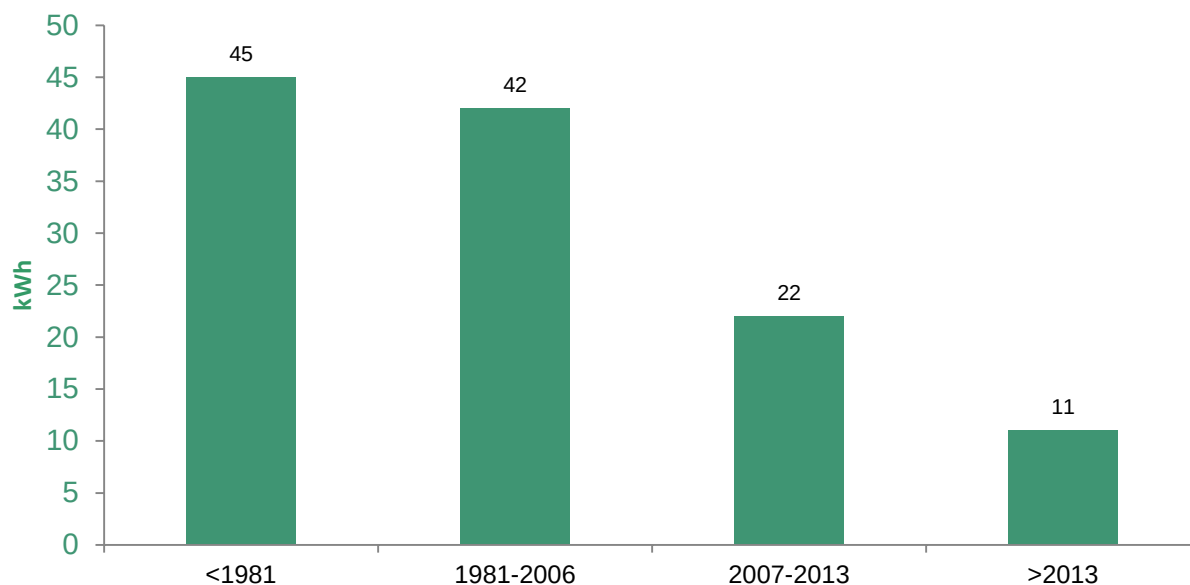


Gráfico 35: Evolución emisiones CO₂ para Hospital en Sevilla

La demanda de calefacción disminuye en este caso un 80% y la demanda de refrigeración aumenta un 13%.

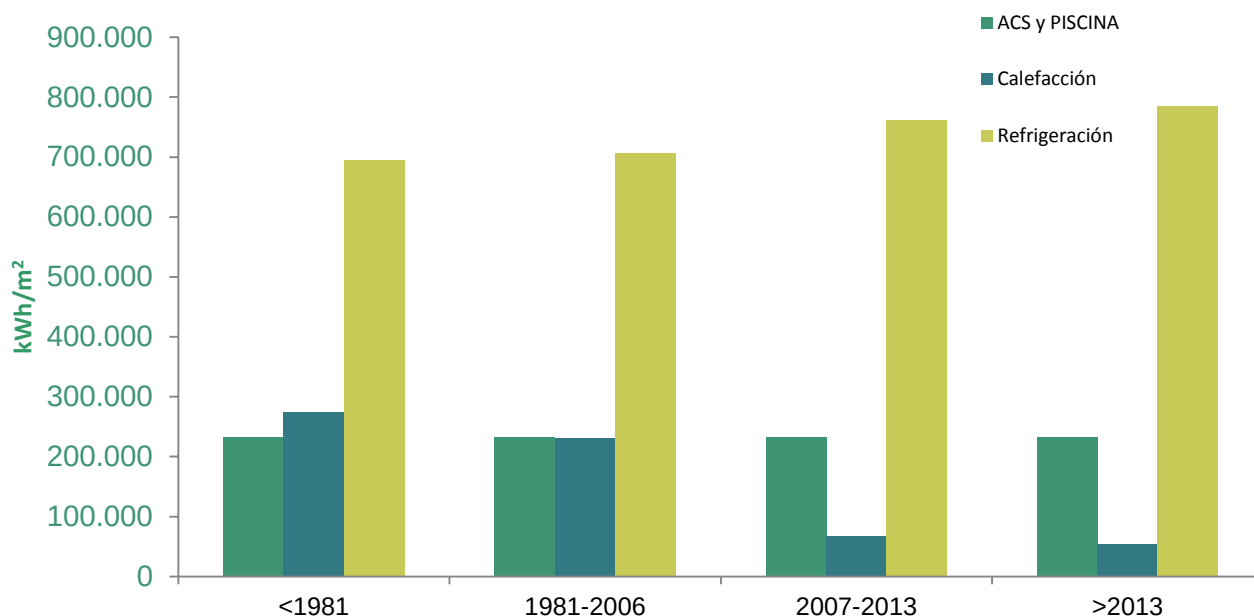


Gráfico 36: Evolución de demandas térmicas para Hospital en Sevilla

En los polideportivos de las tres localizaciones se consideraron sistemas de producción de ACS, piscina y calefacción alternativos a los de gas natural, y también de gasóleo, para aquellos edificios construidos antes de 2006. El incremento de emisiones sobre la alternativa con gas oscila entre un 14 y el 18 % mayor en función de la localización, alcanzándose los mayores valores en Burgos y los menores en Sevilla.

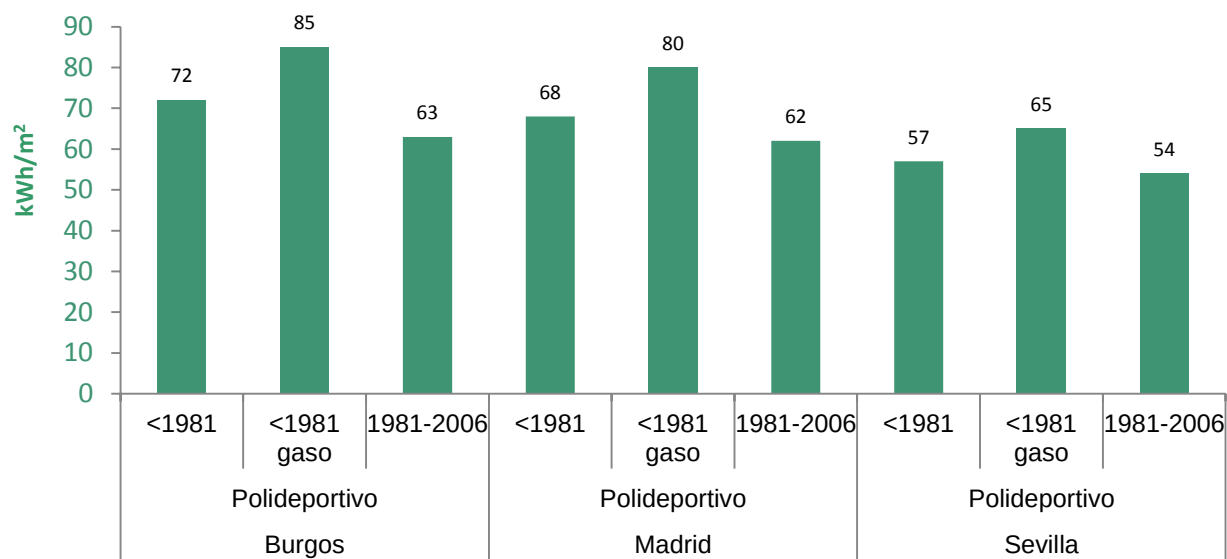


Gráfico 37: Emisiones para polideportivo en las tres localidades anteriores a 2006

También se consideraron sistemas alternativos, de caldera de gas centralizados para generación de ACS y calefacción, a los sistemas individuales a gas considerados para el resto de casos en los edificios plurifamiliares de 8 plantas construidos en Burgos y Madrid antes de 1981. En este caso se obtuvo emisiones un 20 % menores en los sistemas centralizados que en los individuales.

6.3 Impacto de incorporación de energía solar térmica para las aplicaciones de ACS y climatización de Piscina

Una vez obtenida la calificación energética de los edificios objeto del estudio, se obtiene la calificación energética correspondiente a la incorporación de energía solar térmica para abastecer parte de las demandas de ACS y, en su caso, también la demanda correspondiente a la climatización de piscina.

El efecto de la incorporación de energía solar térmica sobre la calificación energética variará en función de la importancia que la demanda de ACS y climatización de piscina tengan sobre el resto de demandas térmicas en cada edificio. La contribución solar objetivo a alcanzar para todos los casos será en este caso la establecida en la sección HE4 del CTE de 2013, excepto para los edificios construidos entre los años 2007-2013, que se tendrá en cuenta la sección HE4 del CTE del 2006. Para que el análisis sea efectivo, y se pueda determinar el efecto de la incorporación de energía solar térmica sobre edificios que no contaban con ella, la comparativa de mejora sobre el caso base se efectuará solo sobre aquellos edificios construidos anteriormente al año 2006, ya que, en las certificaciones energéticas de los edificios construidos con posterioridad a esa fecha ya se ha tenido en cuenta la contribución solar mínima establecida en la sección HE4.

En un 41 % de los casos, 23 de los 56 edificios estudiados, se produce el cambio de letra en la calificación energética. Esta mejora se da sobre todo en hoteles, polideportivos y hospitales. En 5 casos la mejora de la calificación supone un cambio de dos letras. La mejora de dos letras se produce en los hospitales de Sevilla y Madrid construidos antes de 2006 y en los hospitales construidos en Burgos entre 1981 y 2006.

La siguiente tabla muestra las emisiones de CO₂/m² obtenidas después de incorporar las instalaciones de energía solar térmica para las distintas tipologías edificatorias en cada periodo constructivo.

Tipología edificatoria	Emisiones kg.CO ₂ /m ² caso base vs HE4				
	<1981	1981 2006	2007 2013	>2013	Promedio edificio
Unifamiliar	57	45	19	9	32
Plurif 4	52	43	25	11	33
Pluri8	39	32	18	10	25
Oficina 4	39	35	32	19	31
Oficina 8	31	28	22	15	24
Polideportivo	48	42	36	31	39
Hospital	38	33	22	11	26
Hotel	39	36	22	17	28
Centro comercial	30	23	18	18	23
Promedio año	41	35	24	16	

Tabla 49: Emisiones de CO₂/m² por tipología edificatoria y periodo constructivo

La siguiente tabla muestra la disminución de emisiones obtenida al incorporar energía solar térmica en los edificios en los periodos constructivos previos a la entrada en vigor del CTE y la aplicación de la sección HE4 comparados con las emisiones obtenidas en el caso base y que se mostraron en el apartado 6.2.

Tipología edificatoria	<1981	1981 2006	Mejora de emisiones promedio
Unifamiliar	13%	15%	14%
Plurif 4	8%	8%	8%
Pluri8	5%	6%	5%
Oficina 4	4%	3%	3%
Oficina 8	2%	3%	3%
Polideportivo	27%	30%	29%
Hospital	28%	32%	30%
Hotel	12%	13%	13%
Centro comercial	0%	0%	0%
Emisiones promedio todas tipologías	11%	12%	12%

Tabla 50: Reducción de emisiones de CO₂/m² por tipología edificatoria y periodo constructivo

La incorporación de energía solar térmica para abastecer la demanda de ACS y piscina del edificio supone en general una disminución de emisiones promedio para todas las tipologías edificatorias, años de construcción y localizaciones considerados de un 12 %. La mayor disminución de emisiones correspondería en general a aquellas tipologías edificatorias donde la demanda de ACS, y de piscina en su caso, representa una parte importante de la demanda térmica. Es además en este tipo de edificios donde, conforme se establece en la sección HE4, se establecen mayores contribuciones solares a alcanzar, ya que se exige una mayor contribución cuanto mayor es la demanda de ACS diaria. En el caso de hoteles se exige hasta un 70 % de contribución solar para cualquier localización.

La disminución de emisiones conseguida tras la incorporación de energía solar térmica varía ligeramente en función del periodo constructivo considerado. La reducción de emisiones promedio obtenida para todas las localizaciones, es ligeramente mayor en el periodo de construcción comprendido entre 1981 y 2006 que en otros periodos, siendo los hospitales, con un 32%, los edificios donde se consigue una mayor reducción de emisiones, seguidos por los hoteles, donde la reducción promedio es del 10 %. La reducción de emisiones promedio para todas las tipologías edificatorias, anteriores a 1981 y construidas entre 1981 y 2006, es del 11 y 12 % respectivamente.

Por otro lado, los polideportivos, tal y como se vio en el apartado 6.1, son las tipologías edificatorias en los que la demanda combinada de ACS y piscina es la mayor de todas las demandas térmicas (comprendida entre un 50 y un 73 % sobre el total). Por lo tanto, el efecto de la incorporación de energía solar se deja notar en estos edificios de una forma muy acusada.

El caso en el que mayor reducción de emisiones se produce, sería el correspondiente a los polideportivos construidos entre el año 1981 y 2006 ubicados en Sevilla, donde éstas disminuirían un 37 %. Le seguirían los hospitales construidos también en el mismo periodo en Sevilla, donde se

alcanza una reducción de emisiones del 36%. El resto de casos, correspondientes a hospitales y polideportivos para las otras dos localizaciones y para las viviendas unifamiliares de Sevilla, la disminución de emisiones está comprendida entre un 22 y un 35 %. En todos estos casos, excepto en el caso de los polideportivos construidos en Madrid entre 1981 y 2006, se produce un cambio de letra en la calificación energética, en muchos de ellos se produce una mejora de hasta dos letras.

La menor disminución de emisiones se produce en los edificios donde la demanda de ACS es muy baja comparada con la demanda térmica total. En los centros comerciales de cualquier localización la disminución de emisiones es prácticamente imperceptible. En los edificios de oficinas la reducción de emisiones promedio para todas las localizaciones anteriores a 2006 es de un 3%. En los edificios residenciales plurifamiliares la mejora de emisiones de CO₂ promedio para todas las localizaciones no supera el 10 %.

Los hoteles de cualquier localización, el resto de casos de vivienda unifamiliar y los edificios residenciales plurifamiliares de 4 plantas ubicados en Sevilla, presentan una disminución de emisiones comprendidas entre el 10 y el 20 %. El cambio de letra, como se vio anteriormente, se produce solo en los hoteles.

En la siguiente tabla se muestra la mejora de emisiones y la fracción solar total promedio, obtenida para todas las localizaciones, para cada una de las tipologías edificatorias. Se han ordenado las tipologías edificatorias de mayor a menor respecto a la mejora de emisiones obtenida:

	Fracción solar total	Mejora emisiones promedio ACS +Pisc	Grado de Efectividad
Hospital	67%	30%	45%
Polideportivo	59%	29%	49%
Unifamiliar	65%	14%	22%
Hotel	68%	13%	19%
Plurifamiliar 4	52%	8%	15%
Plurifamiliar 8	51%	5%	10%
Oficina 4	60%	3%	5%
Oficina 8	57%	3%	5%
Centro comercial	57%	0%	0%

Tabla 51: Mejora promedio de emisiones por tipología edificatoria y fracción solar total obtenida al incorporar energía solar térmica para ACS y piscina

Si analizamos la relación entre la mejora de emisiones de CO₂ total resultante y la fracción solar total obtenida, factor al que se ha denominado “Grado de efectividad”, vemos como los polideportivos son los edificios donde mayor reducción de emisiones se obtiene cuanto mayor es la fracción solar. Este grado de efectividad depende, por un lado, de la importancia que tenga la demanda sobre la que la instalación solar está actuando, y por otro, de las emisiones imputables a cada fuente de energía sustituida por la energía solar. Los resultados obtenidos correspondientes al “Grado de efectividad” mostrado en la tabla anterior, pretenden dar una idea aproximada de las diferencias que pueden existir en cuanto al impacto del aumento de la fracción solar sobre la disminución de

emisiones entre diferentes tipologías edificatorias. Los resultados obtenidos correspondientes al “Grado de efectividad” se han calculado como valores promedio para todas las localizaciones y periodos constructivos considerados, por lo que no se trata de datos extrapolables ni válidos para casos concretos.

A continuación, se muestran los datos obtenidos para cada tipología edificatoria en cuanto a número de captadores, fracción solar, calificación energética, disminución de emisiones y si se ha producido un cambio de letra o no. Se muestran también los resultados obtenidos para los edificios construidos a partir de 2006 ya que las fracciones solares obtenidas después de realizar el dimensionado de la instalación solar correspondiente a cada caso no siempre se ajusta a la exigida por la sección HE4, siendo ésta en muchos casos algo superior. Su toma en consideración afecta a la mejora de la eficiencia energética aunque no tanto como en el caso de los edificios construidos antes de 2006.

En cualquier caso, es ilustrativo analizar los niveles de emisiones y calificación energética obtenidos en los edificios construidos posteriormente a 2006 donde se ha aplicado el documento DB-HE.

6.3.1 Viviendas unifamiliares

La siguiente tabla muestra los resultados correspondientes a las viviendas unifamiliares. Se aprecia que solo se obtiene una mejora de la calificación energética, donde la letra pasa de una E a una D, en las viviendas construidas en Sevilla anteriormente a 2006.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	1	54%	76,6 E	11%	No
	1981-2006	1	54%	61,3 E	10%	No
	2007-2013	1	54%	37,9 D	3%	No
	>2013	1	54%	17,6 B	0%	No
Madrid	<1981	1	64%	69,7 E	12%	No
	1981-2006	1	64%	50,9 E	15%	No
	2007-2013	1	64%	30,6 C	0%	No
	>2013	1	64%	14,3 B	0%	No
Sevilla	<1981	1	76%	26 D	24%	Si
	1981-2006	1	76%	23,2 D	26%	Si
	2007-2013	1	76%	16,0 C	0%	No
	>2013 (Termo)	2	78%	7,1B	8%	No
	>2013 GN	1	71%	7,2 B	0%	No

Tabla 52: Calificación energética para viviendas unifamiliares con incorporación de solar térmica para ACS

La mayor disminución de emisiones se produce en los edificios ubicados en Sevilla construidos antes del 2006 donde la disminución de emisiones es de promedio un 25 %. En Burgos, sin embargo la disminución de emisiones de CO₂ se cifra en torno al 10 %.

En Sevilla, en los edificios construidos posteriormente a 2013, como se vio anteriormente, se consideran dos alternativas de producción de ACS, una con termo eléctrico y la otra con caldera mixta de gas natural. Si se evalúan los resultados obtenidos con el programa CHEQ4 para la instalación con termo eléctrico posteriores a 2013, el programa considera unas pérdidas por acumulación en el termo eléctrico que no son tenidas en cuenta en el caso que utiliza la caldera de gas natural, por lo que para cumplir con la fracción solar de ACS exigida por normativa se necesitaran dos captadores en lugar de uno, para la instalación que utiliza termo eléctrico.

6.3.2 Viviendas plurifamiliares 4 y 8 plantas

En viviendas plurifamiliares de 4 plantas no se produce el cambio de letra en ningún caso. La mejora promedio en cuanto a emisiones de CO₂ de los edificios construidos antes de 2006 es inferior a un 10 % en Burgos y Madrid. Las mayores disminuciones se producen en Sevilla, estando estas situadas en torno al 15 %. El caso que representa la menor disminución, un 5 %, corresponde a los edificios construidos en Burgos antes de 1981.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	10	42%	70,2 E	5%	No
	1981-2006	10	42%	56,6 E	7%	No
	2007-2013	8	32%	33,6 D	0%	No
	>2013	10	42%	14,6 B	0%	No
Madrid	<1981	10	51%	58,8 E	8%	No
	1981-2006	10	51%	49,3 E	6%	No
	2007-2013	13	60%	27,6 D	0%	No
	>2013	10	51%	12,3B	0%	No
Sevilla	<1981	10	60%	29,4 E	15%	No
	1981-2006	10	60%	25,1 E	17%	No
	2007-2013	14	70%	14,2 D	0%	No
	>2013	10	60%	6,7 B	0%	No

Tabla 53: Calificación energética para viviendas plurifamiliares 4 plantas con incorporación de solar térmica para ACS

Los resultados de calificación energética para vivienda plurifamiliar de 8 plantas muestran que solo se produce un cambio de letra en uno de los casos, los edificios construidos entre 1981 y 2006 ubicados en Sevilla. En este caso se produce una mejora de emisiones de un 10 %, la mayor de todos los casos correspondientes a esta tipología edificatoria. La disminución de emisiones de CO₂ promedio para todos los edificios construidos antes de 2006 se sitúa en torno a un 5 %.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	13	40%	52,4 E	4%	No
	1981-2006	13	40%	42,3 E	5%	No
	2007-2013	9	31%	24,8 D	0%	No
	>2013	13	40%	12,9 B	0%	No
Madrid	<1981	14	50%	44 E	4%	No
	1981-2006	14	50%	35,9 E	5%	No
	2007-2013	17	60%	21,0 C	0%	No
	>2013	14	50%	11 B	0%	No
Sevilla	<1981	24	61%	21,2 E	8%	No
	1981-2006	24	61%	18,2 D	10%	Si
	2007-2013	30	70%	10,5 C	0%	No
	>2013	24	61%	5,5 B	0%	No

Tabla 54: Calificación energética para viviendas plurifamiliares 8 plantas con incorporación de solar térmica para ACS

6.3.3 Oficinas de 4 y 8 plantas

En los edificios de oficinas de 4 plantas obtenemos una disminución de emisiones promedio de un 3%. Se produce el cambio de letra para los casos correspondientes a edificios construidos en Burgos anteriormente a 1981 y en Sevilla en oficinas construidas entre 1981-2006.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	2	44%	47,1 D	2%	Si
	1981-2006	2	44%	40,8 D	2%	No
	2007-2013	4	63%	34,3 C	0%	No
	>2013	2	44%	18,8 B	0%	No
Madrid	<1981	2	53%	40,8 D	5%	No
	1981-2006	2	53%	36,4 D	3%	No
	2007-2013	4	73%	33,6 C	0%	No
	>2013	2	53%	19,2 B	0%	No
Sevilla	<1981	3	72%	30,5 D	6%	No
	1981-2006	3	72%	28,1 C	3%	Si
	2007-2013	4	72%	30,4 C	0%	No
	>2013	3	72%	19,3 B	0%	No

Tabla 55: Calificación energética para oficina 4 plantas con incorporación de solar térmica para ACS

En los edificios de oficinas de 8 plantas no se obtiene cambio de letra en ningún caso. La mejora en la eficiencia energética promedio para los edificios construidos antes de 2006 es de un 3%. Los mayores valores de disminución de emisiones se producen en Sevilla, donde estas se reducen un 4% y los menores en Burgos, siendo prácticamente inapreciable en el caso de los edificios construidos antes de 1981.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	6	44%	36,2 D	0%	No
	1981-2006	6	44%	31,6 D	3%	No
	2007-2013	11	61%	21,8B	0%	No
	>2013	6	44%	14,4 A	0%	No
Madrid	<1981	7	55%	32,6 D	3%	No
	1981-2006	7	55%	29,3 D	3%	No
	2007-2013	11	71%	23,2 B	0%	No
	>2013	7	55%	15,8 B	0%	No
Sevilla	<1981	7	61%	26,1 D	4%	No
	1981-2006	7	61%	23,9 C	4%	No
	2007-2013	9	72%	22,9 C	0%	No
	>2013	7	61%	17,3 B	0%	No

Tabla 56: Calificación energética para oficina 8 plantas con incorporación de solar térmica para ACS

6.3.4 Hospitales

Los hospitales, como se anticipó anteriormente, son los edificios donde mayor impacto tiene la incorporación de energía solar para ACS. La disminución de emisiones promedio para los edificios construido antes de 2006 alcanza el 30%.

Todos los edificios construidos anteriormente a 2006 mejoran la calificación energética en al menos una letra. Los hospitales construidos en Madrid y Sevilla antes de 2006 mejoran la calificación en dos letras. En los hospitales construidos en Burgos y Madrid entre 1981 y 2006, donde la fracción solar alcanzada es del 60 % y del 70 % respectivamente, se pasa de una letra F a una D. Los hospitales construidos en Madrid antes de 1981 y en Sevilla antes de 2006 pasarían de una letra G a una E cuando se incorpora una fracción solar del 70 %.

La mayor reducción de emisiones se produce en los hospitales construidos en Sevilla entre 1981 y 2006 donde éstas disminuyen un 36%. La menor disminución de emisiones se produce en los hospitales construidos en Burgos antes de 1981 donde estas disminuyen un 24 %.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	85	60%	44 E	24%	Si
	1981-2006	85	60%	37,9 D	29%	Si
	2007-2013	85	60%	21,6 B	0%	No
	>2013	85	60%	10,8 A	0%	No
Madrid	<1981	81	70%	39,4 E	29%	Si
	1981-2006	81	70%	34,4 D	32%	Si
	2007-2013	81	70%	22,4 C	0%	No
	>2013	81	70%	11,3 B	0%	No
Sevilla	<1981	70	70%	30 E	33%	Si
	1981-2006	70	70%	27,4 E	36%	Si
	2007-2013	70	70%	22,5 C	0%	No
	>2013	70	70%	11,1 B	0%	No

Tabla 57: Calificación energética para hospital con incorporación de solar térmica para ACS

6.3.5 Polideportivos

Los polideportivos son los edificios donde una mayor disminución de emisiones se consigue, reduciéndose estas hasta un promedio de un 29 % para todas las localidades y periodos constructivos. Se obtiene un cambio de letra en todos los edificios anteriores a 2006 en todas las localidades, excepto en el caso de los polideportivos ubicados en Madrid construidos entre 1981 y 2006. La menor disminución de emisiones se produce en los polideportivos construidos en Burgos antes de 1981 y la mayor en los polideportivos construidos en Sevilla entre 1981 y 2006 donde las emisiones se reducen en un 37%.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	218	50%	56,3 C	22%	Si
	1981-2006	218	50%	47,4C	25%	Si
	2007-2013	158	39%	39,8B	5%	No
	>2013	218	50%	33,6 B	0%	No
Madrid	<1981	204	60%	50,6 C	26%	Si
	1981-2006	204	60%	44,1 C	29%	No
	2007-2013	204	60%	35,3 B	0%	No
	>2013	204	60%	31,9B	0%	No
Sevilla	<1981	208	70%	37,5 B	35%	Si
	1981-2006	208	70%	34,9 B	37%	Si
	2007-2013	208	70%	33,5 B	0%	No
	>2013	208	70%	29,9 B	0%	No

Tabla 58: Calificación energética para polideportivo con incorporación de solar térmica para ACS

6.3.6 Hoteles

Los hoteles construidos antes de 2006 disminuyen las emisiones de CO₂ un 10 % de promedio. Se obtiene un cambio de letra para todos los casos anteriores a 2006 excepto para aquellos hoteles construidos en Burgos entre 1981 y 2006. La mayor disminución de emisiones se produce en los hoteles construidos en Sevilla entre 1981 y 2006 donde estas se reducen un 15 %, aunque todos los hoteles construidos antes de 2006 en Madrid y Sevilla reducen sus emisiones de manera parecida. La menor disminución de emisiones se produce en los hoteles ubicados en Burgos antes de 1981, donde solo se reducen un 10%.

Dentro de la tipología edificatoria de hoteles se decidió en el capítulo 5 de “*Metodología*” incluir una zona climática adicional correspondiente a las Islas Canarias, concretamente, Las Palmas de Gran Canaria. En ese caso particular, las emisiones se reducen un 13 % para los hoteles construidos antes de 2006 y la letra correspondiente a la calificación pasa de una D a una C.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	156	60%	44 D	10%	Si
	1981-2006	156	60%	38,8 D	12%	No
	2007-2013	200	70%	19,83 D	0%	No
	>2013	156	60%	16,3 B	0%	No
Madrid	<1981	148	70%	41,2 D	11%	Si
	1981-2006	148	70%	36,7 D	14%	Si
	2007-2013	148	70%	20,2 B	0%	No
	>2013	148	70%	15,1 B	0%	No
Sevilla	<1981	128	70%	30,4 D	14%	Si
	1981-2006	128	70%	28,1 D	15%	Si
	2007-2013	128	70%	15,7 B	6%	No
	>2013	128	70%	12,6 B	0%	No
Las Palmas	<1981	115	70%	42,2 C	13%	Si
	1981-2006	115	70%	40,1 C	13%	Si
	2007-2013	115	70%	32,8 C	0%	No
	>2013	115	70%	26,5 B	0%	No

Tabla 59: Calificación energética para hotel sin piscina con incorporación de solar térmica para ACS

6.3.7 Centros comerciales

Los centros comerciales son la tipología edificatoria donde menor impacto tiene la incorporación de energía solar térmica debido a la escasa importancia que la demanda de ACS tiene sobre el total de la demanda térmica del edificio. Tanto es así, que su efecto no es apreciable cuando se analizan las emisiones de CO₂ por m². Por ello, el resultado en cuanto a disminución de emisiones se muestra como un 0 % en todos los casos. Por tanto, se produce el cambio de letra en ninguno de los casos.

Si no se tuviesen en cuenta este tipo de edificios a la hora de determinar la disminución de emisiones promedio para todos los casos considerados, ya que la aportación solar no causa ningún efecto visible en ellos, ésta se vería incrementada en un 2 % pasando de un 12 a un 14 %.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Calificación CE3X	Mejora eficiencia energética	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	3	45	37,7 E	0%	No
	1981-2006	3	45	27 D	0%	No
	2007-2013	5	60	20,5 A	0%	No
	>2013	3	45	19,4 A	0%	No
Madrid	<1981	3	54	32,2 D	0%	No
	1981-2006	3	54	25,3 C	0%	No
	2007-2013	6	70	19,5 A	0%	No
	>2013	3	54	19,1 A	0%	No
Sevilla	<1981	3	60	21,1 C	0%	No
	1981-2006	3	60	18,5 C	0%	No
	2007-2013	5	74	16,2 A	0%	No
	>2013	3	60	17,2 A	0%	No

Tabla 60: Calificación energética para centro comercial con la incorporación de solar térmica para ACS

A continuación, se procede a analizar de forma gráfica y comparativa, el impacto de la energía solar térmica para producción de ACS en la calificación energética sobre todas las tipologías edificatorias a la vez en función de la localización y año de construcción. Los gráficos mostrarán las emisiones obtenidas en el caso base junto a las emisiones obtenidas cuando se incorpora la energía solar.

Si analizamos, por ejemplo, el caso de los edificios construidos en Madrid antes del año 1981, se puede apreciar en el gráfico siguiente como el efecto es muy diverso en función del tipo de edificio sobre el que se actúe. En el caso de los centros comerciales la incorporación de energía solar no tiene un efecto visible sobre la calificación energética ya que, como se ha visto, su demanda de ACS es muy baja en comparación con el resto de demandas térmicas del edificio.

Las emisiones de CO₂ bajan de promedio un 12% considerando todas las tipologías edificatorias construidas en Madrid antes de 1981. En edificios de oficinas y edificios residenciales plurifamiliares, el impacto es relativamente bajo, consiguiendo la energía solar térmica disminuir las emisiones menos de un 10 %. El impacto, sin embargo, es significativamente mayor en el caso de polideportivos y hospitales, donde supone una disminución de emisiones de un 27 y un 28 % respectivamente.

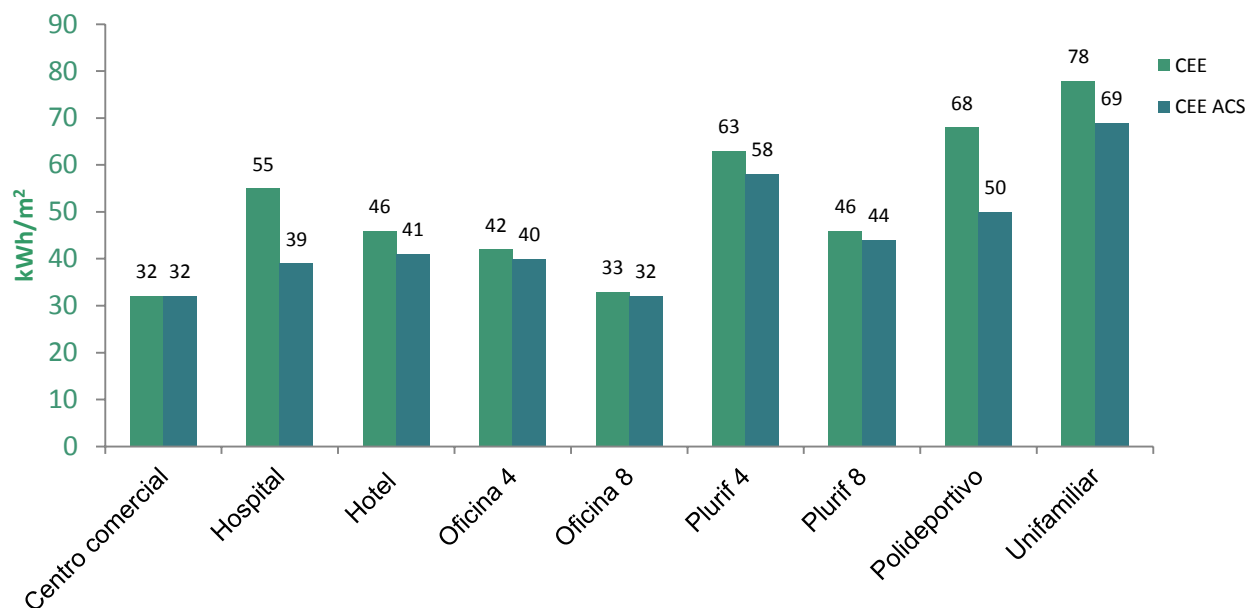


Gráfico 38: Emisiones de CO₂ para todas las tipologías edificatorias Madrid construidas antes del 1981

Realizando el mismo análisis para los edificios construidos antes de 1981 en Sevilla, donde la radiación solar disponible es mayor y las contribuciones solares exigidas son también en general más altas, se comprueba que la disminución promedio de emisiones se cifra en torno a un 16 %.

La contribución solar afecta de forma parecida a todos los edificios a como lo hace en Madrid. Los centros comerciales no se ven apreciablemente afectados por la contribución solar, los edificios de oficinas las ven disminuidas entre un 4 y un 6 % y los plurifamiliares entre un 9 y un 15 % dependiendo de si son de 8 o 4 plantas respectivamente.

Las tipologías edificatorias que mayores disminuciones de emisiones de CO₂ consiguen, sin embargo, son los polideportivos que disminuyen las emisiones un 35% seguidos por los hospitales que disminuyen sus emisiones un 33 %. Las viviendas unifamiliares disminuyen sus emisiones un 24 %.

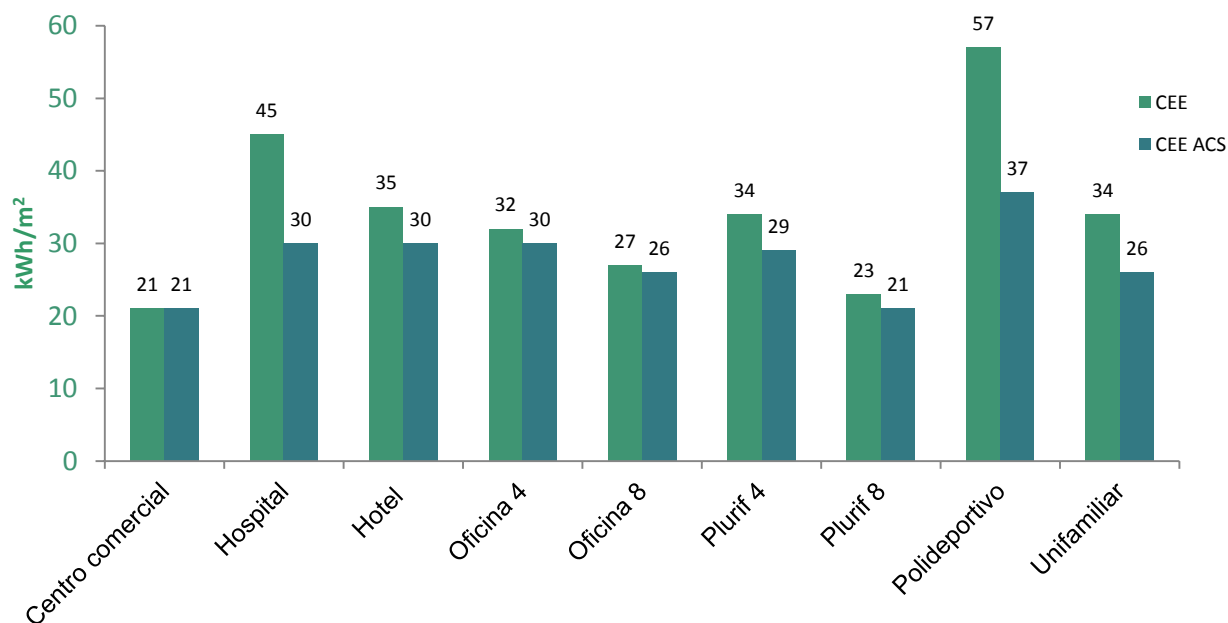


Gráfico 39: Emisiones de CO₂ para todas las tipologías edificatorias Sevilla construidas antes del 1981

En Burgos, que como se ha visto al principio del apartado, es la localización donde menor impacto tiene la incorporación de energía solar térmica, la disminución de emisiones de CO₂ para todas las tipologías edificatorias construidas antes de 1981 sería de promedio un 9 %. El mayor descenso correspondería a los hospitales, donde las emisiones se reducirían un 24 %, seguido por los polideportivos con un 22 % y los hoteles con un 16 %.

Los edificios donde menos afecta la incorporación de energía solar son los centros comerciales, las oficinas, donde en los edificios de 8 plantas no se aprecia reducción de emisiones alguna y en los de 4 plantas tan solo se ven reducidas en un 2 % y los edificios plurifamiliares donde la mejora de emisiones no supera el 5 %.

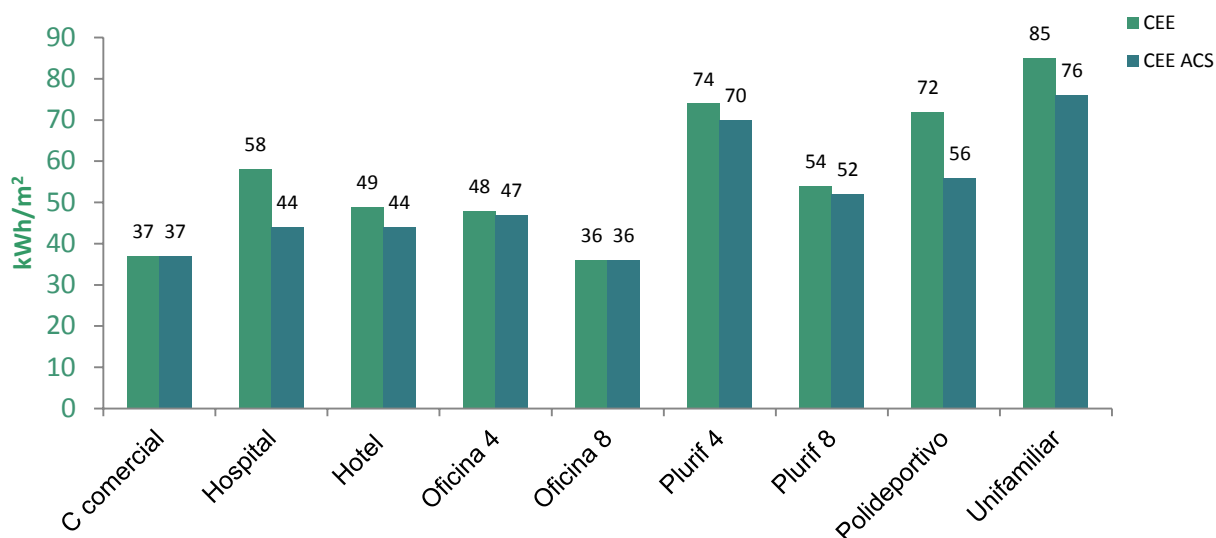


Gráfico 40: Emisiones de CO₂ para todas las tipologías edificatorias Burgos construidas antes del 1981

En la siguiente grafica se compara la disminución de emisiones obtenida en hoteles, para las distintas localidades, tras la incorporación de la energía solar térmica en los edificios construidos antes de 1981. Las emisiones debidas a la incorporación de la energía solar térmica son de promedio un 12% menores respecto al caso base. Como se estableció en el apartado correspondiente a la metodología, para la tipología edificatoria de hoteles, se ha tenido en cuenta una localización adicional, Las Palmas de Gran Canaria que representa a las islas Canarias.

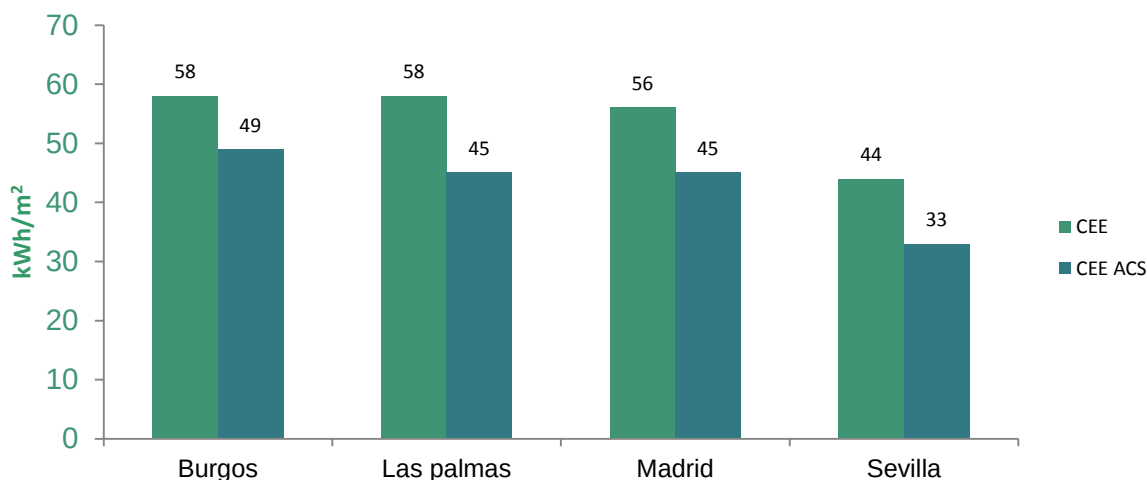


Gráfico 41: Emisiones de CO₂ para todas un hotel en diferentes localidades construidas antes del 1981

La localización donde menos afecta la incorporación de energía solar térmica es Burgos donde se alcanza solo una reducción de emisiones del 10 %. La localización donde más se ven reducidas las emisiones es Sevilla, donde se reducen un 15 %, un 2% más que en Las Palmas donde las emisiones solo se ven reducidas un 13 %.

Los hoteles de Las Palmas presentan mayores niveles de emisiones de CO₂ que en Sevilla, en parte porque la demanda de ACS se abastece con calderas de gasóleo, al contrario que en el resto de localizaciones donde es abastecida por gas natural, y también por presentar una mayor demanda de refrigeración que supone un elevado consumo de energía eléctrica. Por ello, el efecto de la incorporación de la instalación solar no es más acusado en Las Palmas, que por ejemplo, en el caso de Sevilla.

Para finalizar el análisis, se muestra el efecto que tendría la incorporación de energía solar térmica para producción de ACS en edificios donde se están aplicando medidas de eficiencia energética importantes. Para ello, se compara un hipotético caso donde un hotel construido posteriormente al año 2013 sin energía solar, se compara con uno que si la incorpora para satisfacer la contribución solar mínima para cubrir la demanda de ACS establecida en la sección HE4. Se ha seleccionado esta tipología edificatoria al ser una en las que la demanda de ACS representa una parte importante de la demanda térmica total.

Se aprecia en el siguiente gráfico el fuerte impacto que tiene sobre las emisiones del edificio la incorporación de energía solar térmica. Las emisiones al incorporar energía solar disminuyen un 50 % en Sevilla, un 46 % en Madrid, un 37 % en Las Palmas y un 45 % en Burgos.

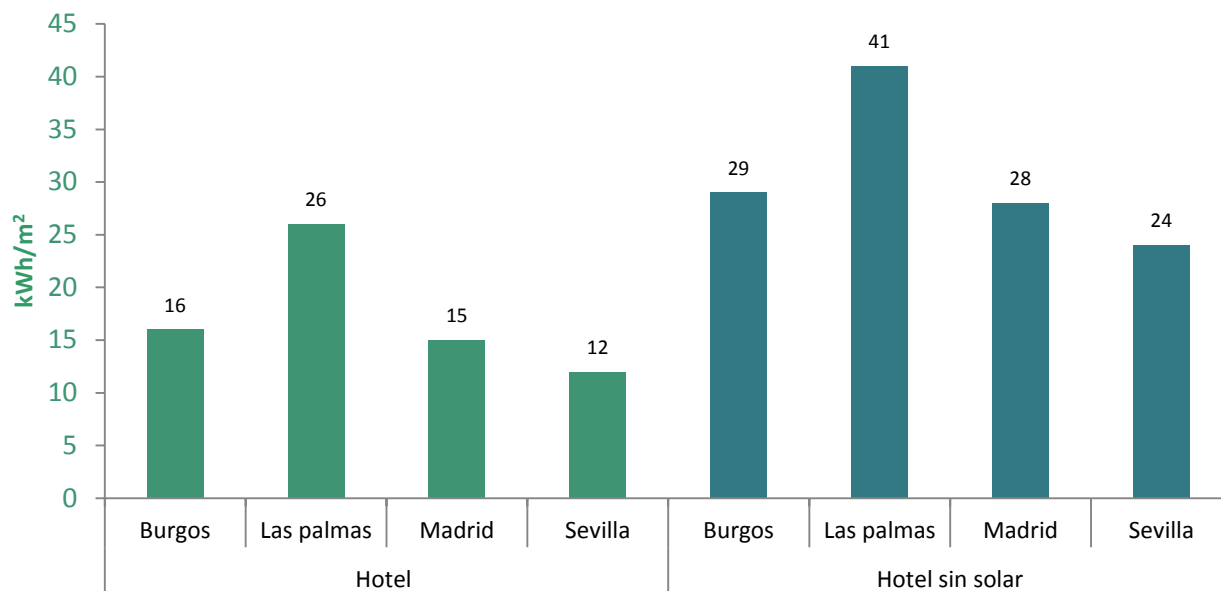


Gráfico 42: Emisiones de CO₂ para hoteles en las distintas localidades posteriores a 2013

Por otro lado, si se hace la comparativa entre la disminución de emisiones conseguida por la incorporación de energía solar térmica entre todos los edificios construidos antes de 1981 y aquellos construidos entre 1981 y 2006, se comprueba que las emisiones disminuyen algo más en este segundo periodo presentando reducciones promedio de un 1,2 %, siendo los hospitales de Burgos donde más se reducen las emisiones cayendo un 4,71 % en el periodo 1981-2006.

Para ilustrarlo, se muestra gráficamente cómo impacta en las emisiones la contribución solar para el caso de un hotel en Madrid. Los hoteles construidos en el periodo 1981-2006 presentan unas emisiones un 3,4 % menores que los hoteles construidos antes de 1981. Dado que a partir del año 2006, estos edificios se ven afectados por la sección HE4 del CTE, en esos dos periodos no se ven afectadas las emisiones.

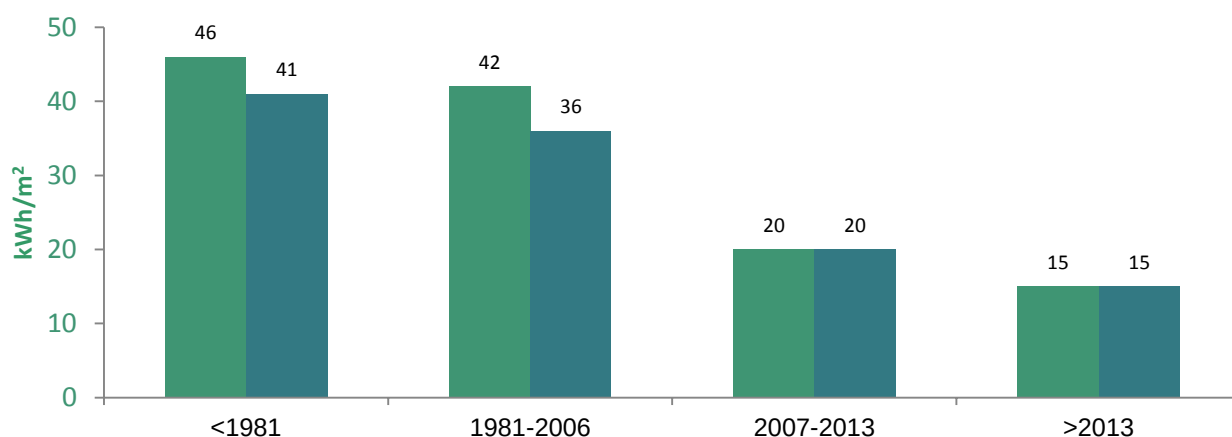


Gráfico 43: Emisiones de CO₂ para un hotel ubicado en Madrid construidas en diferentes periodos

Este efecto no ocurre, sin embargo, en el caso de viviendas unifamiliares construidas en Burgos antes de 1981, y en los edificios plurifamiliares de 4 plantas de Madrid, donde la reducción de emisiones es mayor para los edificios anteriores a 1981 que para los construidos entre 1981 y 2006.

6.4 Impacto de incorporación de energía solar térmica para las aplicaciones de ACS, climatización de Piscina, calefacción y refrigeración

En el análisis de impacto sobre la calificación energética de la incorporación de energía solar térmica para satisfacer todas las demandas térmicas del edificio (ACS, piscina, calefacción y refrigeración), se ha tenido en cuenta, al contrario de cómo sucedía para el caso de la contribución solo para ACS, todos los periodos de año de construcción considerados, lo cual supone la realización de 112 simulaciones.

La contribución solar supone en general, para todas las tipologías edificatorias y todos los periodos considerados, una disminución de emisiones de CO₂ promedio de un 15 %. El cambio de letra correspondiente a la calificación energética se produce en 47 de los 112 casos, es decir en un 42 % de los casos analizados. Dentro de los casos en los que la letra se mejora, en un 7 % (8 casos) ésta mejora dos letras y en un 2 %, (2 casos) se mejora tres letras. Estos dos casos excepcionales, corresponden a los hospitales construidos en Madrid antes de 1981 y a los hospitales construidos en Sevilla entre 1981 y 2006. En ambos casos la calificación energética pasa de disponer una letra G a una letra D. Las tipologías edificatorias en donde en mayor número de casos se produce un cambio de letra, es en las viviendas unifamiliares, hospitales y hoteles.

La siguiente tabla muestra las emisiones de CO₂/m² obtenidas como promedio para todas las localizaciones, después de incorporar las instalaciones de energía solar térmica, para las distintas tipologías edificatorias en cada periodo constructivo.

Emisiones	Emisiones CO ₂ /m ²				
	<1981	1981 2006	2007 2013	>2013	Promedio edificio
Unifamiliar	40	30	19	9	25
Plurifamiliar 4	48	38	21	8	29
Plurifamiliar 8	36	29	16	8	22
Oficina 4	37	32	29	18	29
Oficina 8	30	27	21	15	23
Polideportivo	45	41	34	31	38
Hospital	33	30	19	10	23
Hotel	37	34	21	17	27
Centro comercial	29	23	18	18	22
Promedio año	37	32	22	15	

Tabla 61: Emisiones de CO₂/m² por tipología edificatoria y periodo constructivo

En la siguiente tabla se muestra la mejora de emisiones y fracción solar total obtenida para todas las demandas térmicas para cada una de las tipologías edificatorias. La tabla se ha ordenado en función de la mayor reducción de emisiones obtenidas:

	Fracción solar ACS + Piscina	Fracción solar Calef.	Fracción solar Ref.	Fracción solar total	Reducción de emisiones ACS +Pisc+Calef.+Ref.	Grado de Efectividad
Unifamiliar	67%	39%	24%	41%	36%	88%
Hospital	74%	14%	2%	22%	24%	109%
Plurifamiliar 4	75%	17%	6%	27%	20%	74%
Polideportivo	61%	23%	3%	40%	18%	45%
Plurifamiliar 8	69%	15%	5%	19%	14%	74%
Hotel	69%	9%	2%	24%	10%	42%
Oficina 4	77%	16%	3%	12%	8%	67%
Oficina 8	76%	11%	0%	7%	5%	71%
Centro comercial	57%	6%	0%	3%	2%	67%

Tabla 62: Mejora promedio de emisiones por tipología edificatoria y fracción solar total obtenida al incorporar energía solar térmica.

La fracción solar total obtenida no tiene por qué estar necesariamente relacionada con la mayor o menor mejora de emisiones de CO₂ total resultante, ya que dependerá por un lado de qué importancia tenga la demanda sobre la que la instalación solar está actuando, y por otro, de las emisiones imputables a cada fuente de energía sustituida por la energía solar. Para determinar el grado de influencia de la fracción solar sobre la reducción de emisiones se ha calculado la relación entre estos dos factores al que se ha denominado, como se vio en el apartado anterior, “Grado de

efectividad". La tipología edificatoria donde se obtiene una mayor reducción de emisiones por fracción solar son los hospitales. Los resultados obtenidos de "Grado de efectividad" solo serían aplicables a los casos estudiados, es decir no se pueden extrapolar a otros casos.

Los edificios donde se aprecia en mayor medida el efecto de la incorporación de energía solar son las viviendas unifamiliares, donde la reducción de emisiones alcanzada llega al 36%. En este caso, la fracción solar total obtenida es también la mayor de todas, un 41 %, dado que, como se muestra en la tabla anterior, existe una alta contribución solar para las tres aplicaciones abastecidas (ACS 67%, Calefacción 36%, Refrigeración 24%). Estas altas contribuciones se deben a que, en el caso particular de las viviendas unifamiliares, como se mencionó en el apartado 5 correspondiente a "*Simulaciones*", las instalaciones solares se dimensionaron para abastecer la contribución solar establecida en el HE4 y además, una demanda mínima de calefacción de un 30%.

En el resto de casos no se observa la misma correlación entre fracción solar y mejora de emisiones dada en el caso de viviendas unifamiliares, excepto en el caso de los edificios de oficinas y los centros comerciales, que presentan los menores valores de mejora de emisiones y también de fracción solar total. Más adelante se analizará en detalle que factores tienen mayor o menor influencia en la disminución de emisiones y fracción solar total obtenida.

En cuanto a reducción de emisiones se refiere, los hospitales y los edificios plurifamiliares de 4 plantas después de las viviendas unifamiliares, son los edificios donde mayores reducciones de emisiones se obtienen, siendo estas superiores al 20 %. Sin embargo, en cuanto a la fracción solar total se refiere, son los polideportivos los edificios que disponen de una mayor fracción solar total después de las viviendas unifamiliares.

Tampoco se observa una correlación clara entre la distribución de las diferentes demandas térmicas, como se vio en el apartado 6.1 "*Consideraciones sobre la demanda térmica*", y la disminución de emisiones provocada por la incorporación de energía solar. Los hospitales y los hoteles, que presentan la distribución de demandas más equilibradas, no son las tipologías edificatorias que mayores fracciones solares representan ni suponen las mayores reducciones de emisiones.

Los edificios donde menores emisiones se producen son los centros comerciales, donde la disminución de emisiones es de un 2%. Los edificios de oficinas de 4 y 8 plantas reducen las emisiones por debajo de un 10 %. Las mayores reducciones de emisiones se producen en las viviendas unifamiliares construidas en Sevilla antes de 2013 donde se alcanzan reducciones superiores al 50%. El caso concreto en el que mayores emisiones se consiguen es el correspondiente a las viviendas unifamiliares construidas en Sevilla entre 1981 y 2006, donde éstas se ven reducidas un 58%.

Para determinar que factor tiene mayor influencia en la disminución de emisiones al incorporar energía solar térmica, se realizan una serie de comparaciones entre las tipologías edificatorias que presentan una mayor disminución de emisiones con las tipologías que presentan por un lado, mayores porcentajes de demanda de ACS, calefacción, refrigeración y por otro mayores fracciones solares para cada demanda.

La siguiente tabla muestra si las tipologías edificatorias ordenadas de mayor a menor reducción de emisiones coinciden con las tipologías edificatorias ordenadas en función de la importancia que la demanda de ACS, calefacción refrigeración tienen sobre la demanda total:

	Demandas vs Mejora EE (%)		
	Demanda ACS + Piscina	Demanda Calef.	Demanda Ref.
Unifamiliar	NO	SI	NO
Hospital	NO	NO	NO
Plurifamiliar 4	SI	SI	NO
Polideportivo	NO	NO	NO
Plurifamiliar 8	NO	NO	NO
Hotel	NO	NO	NO
Oficina 4	NO	NO	NO
Oficina 8	NO	NO	NO
Centro comercial	SI	NO	NO
TOTAL 4	2	2	0

Tabla 63: Comparativa de tipologías edificatorias con mayor disminución de emisiones respecto a la proporción sobre la demanda total de las diferentes demandas del edificio.

En este caso se aprecia que aparentemente no hay relación significativa entre la distribución de las diferentes demandas y la disminución de emisiones obtenida. El número de coincidencias es muy bajo e igual para las demandas de ACS y calefacción. La única conclusión posible, es que la importancia de la demanda de refrigeración sobre la demanda total no tiene influencia sobre la reducción de emisiones.

La siguiente tabla muestra el grado de coincidencia que existe entre las tipologías edificatorias ordenadas de mayor a menor reducción de emisiones cuando se compara con la mayor fracción solar obtenida para cada aplicación abastecida:

	FS Demanda (%) vs Mejora EE		
	FS ACS	FS Calef	FS Refrig
Unifamiliar	NO	SI	SI
Hospital	NO	NO	NO
Plurifamiliar 4	SI	SI	NO
Polideportivo	NO	NO	SI
Plurifamiliar 8	SI	SI	NO
Hotel	SI	NO	NO
Oficina 4	NO	NO	NO
Oficina 8	NO	NO	SI
Centro comercial	SI	SI	SI
TOTAL 12	4	4	4

Tabla 64: Comparativa de tipologías edificatorias con mayor disminución de emisiones respecto a la Fracción solar obtenida para cada demanda.

No existe una clara correlación entre las fracciones solares obtenidas para cada aplicación y la reducción de emisiones de cada tipología edificatoria, ya que para todas las fracciones solares el número de coincidencias es idéntico.

Si analizamos la influencia que la fracción solar total tiene sobre la disminución de emisiones, el número de coincidencias aumenta con respecto al tenido en cuenta al comparar la fracción solar para cada aplicación. Pasando de 4 a 5 coincidencias sobre las 9 tipologías edificatorias. El efecto que la fracción solar tiene sobre la reducción de emisiones se explica mejor analizando el factor denominado “Grado de efectividad” descrito anteriormente.

Fracción Solar Total vs Mejora EE	
Unifamiliar	SI
Hospital	NO
Plurifamiliar 4	SI
Polideportivo	NO
Plurifamiliar 8	NO
Hotel	NO
Oficina 4	SI
Oficina 8	SI
Centro comercial	SI
TOTAL 5	5

Tabla 65: Comparativa de tipologías edificatorias con mayor disminución de emisiones respecto a la Fracción solar total obtenida.

Adicionalmente, se efectúa un análisis que permite analizar que influencia tiene la fracción solar para cada demanda sobre la fracción solar total:

	FS Demanda (%) vs FS Total		
	FS ACS	FS Calef	FS Refrig
Unifamiliar	NO	SI	SI
Polideportivo	NO	SI	NO
Plurifamiliar 4	SI	SI	NO
Hotel	NO	NO	NO
Hospital	NO	NO	NO
Plurifamiliar 8	NO	NO	NO
Oficina 4	NO	NO	NO
Oficina 8	NO	NO	SI
Centro comercial	SI	SI	SI
TOTAL 9	2	4	3

Tabla 66: Comparativa de tipologías edificatorias con mayor fracción solar por aplicación respecto a la Fracción solar total obtenida.

De acuerdo con el número de coincidencias obtenidas, se podría deducir que fracciones solares mayores sobre la demanda de calefacción tendrán una mayor influencia sobre la fracción solar total que las fracciones solares obtenidas sobre el resto de demandas.

Si analizamos la influencia de la distribución de las diferentes demandas sobre la fracción solar total, se aprecia que la mayor demanda de ACS y piscina, presenta un mayor número de coincidencias que el resto de demandas. Lo cual indica que en aquellos edificios donde la demanda de ACS, y piscina en su caso, es mayor, también es en general donde se obtienen mayores fracciones solares totales.

	Demandas vs FS Total (%)		
	Demanda ACS + Piscina	Demanda Calef	Demanda Refrig
Unifamiliar	NO	SI	NO
Polideportivo	NO	NO	NO
Plurifamiliar 4	SI	SI	NO
Hotel	NO	NO	NO
Hospital	NO	NO	NO
Plurifamiliar 8	SI	NO	SI
Oficina 4	NO	NO	NO
Oficina 8	NO	NO	NO
Centro comercial	SI	NO	NO
TOTAL 6	3	2	1

Tabla 67: Comparativa de tipologías edificatorias con mayor demanda por aplicación respecto a la Fracción solar total obtenida.

Se procede a continuación a analizar de manera detallada el impacto que la incorporación de energía solar térmica tiene en la calificación energética para cada tipología edificatoria, teniendo en cuenta el efecto que de forma separada tienen las distintas localizaciones y años de construcción. Es necesario recordar en este punto que la contribución solar a alcanzar en la demanda de ACS, según se estableció en el apartado 4 “*Metodología*”, será la establecida en la sección HE4 del CTE del 2013 para todos los edificios exceptuándose los del año 2006-2013 que se ven afectados por HE4 del CTE año 2006. Una vez obtenido este objetivo de fracción solar para la demanda de ACS, obtendremos para cada edificación y localidad la fracción solar sobre las demandas de calefacción y refrigeración.

6.4.1 Viviendas unifamiliares

Las viviendas unifamiliares son los edificios donde mayor fracción solar total se ha obtenido, un 41 %, y donde también las emisiones se reducen en mayor medida, un 38 %. Se produce una mejora de la letra correspondiente a la calificación energética en todos los casos excepto en las viviendas construidas en Madrid y Burgos antes de 1981 y entre 2007 y 2013 en las tres localidades. Todas las viviendas unifamiliares construidas en Sevilla antes de 2006 mejoran dos letras su calificación energética, además, en todas las localidades para años posteriores a 2013 se produce un cambio de letra de B a A.

Si comparamos el efecto sobre la calificación energética de incorporar energía solar térmica para abastecer las tres demandas térmicas del edificio, con el obtenido cuando incorporábamos energía solar para abastecer únicamente la demanda de ACS, el número de casos donde se mejora la calificación es sustancialmente mayor, pasando de 2 a 9 casos. La reducción de emisiones es un 27 % mayor de promedio.

La demanda de calefacción en el caso de viviendas unifamiliares, como se anticipaba en el apartado 6.1, representa un 67% de la demanda total. Para la localidad de Sevilla, donde la demanda de calefacción es menor, ésta representa un valor promedio de un 40 % aproximadamente. Debido a la importancia que representa la demanda de calefacción en viviendas unifamiliares, las instalaciones solares se han dimensionado de manera que se obtuviera una fracción solar de calefacción mínima del 30%. Como resultado de este dimensionado para las localidades de Madrid y Sevilla obtenemos también una importante cobertura solar de refrigeración superior al 30% de la demanda.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	17	59%	32%	0%	34%	54,1 E	36%	No
	1981-2006	17	59%	32%	0%	37%	40,5 D	41%	Si
	2007-2013	17	65%	35%	0%	34%	26,5 C	32%	Si
	>2013	13	70%	30%	0%	38%	12,2 A	29%	Si
Madrid	<1981	10	59%	30%	36%	32%	37,4D	36%	No
	1981-2006	10	55%	31%	40%	34%	22 C	37%	Si
	2007-2013	10	60%	32%	45%	37%	10,6 A	24%	No
	>2013	7	64%	33%	33%	40%	37,4D	29%	Si
Sevilla	<1981	11	73%	46%	31%	46%	16,4 C	53%	Si
	1981-2006	11	76%	52%	33%	51%	13,4 C	68%	Si
	2007-2013	9	75%	52%	30%	49%	9,9 B	72%	Si
	>2013	8	79%	65%	34%	57%	4,5 A	42%	Si

Tabla 68: Contribución solar para todas las demandas térmicas en vivienda unifamiliar

Las instalaciones dimensionadas para cumplir con las fracciones solares planteadas en la metodología, proporcionan en general mayores fracciones solares para todas las aplicaciones (ACS, Calefacción y Refrigeración) y mayor fracción solar total conforme aumenta el año de construcción y conforme la localización dispone de mayor radiación solar. La reducción de emisiones sin embargo,

disminuye conforme aumenta el año de construcción y aumentan conforme aumenta cuando la localización dispone de mayor radiación.

En Sevilla, la fracción solar total supera o se aproxima al 50 % en todos los casos con un menor número de captadores (menos de la mitad en el caso de los edificios construidos a partir de 2013) que en Burgos, donde las fracciones solares totales alcanzan un promedio de un 35 % debido a la gran disminución de demanda de calefacción. Ésta pasa de representar un promedio del 90 % de la demanda total a un 40 %. La demanda de refrigeración por otro lado pasa de ser nula en Burgos a representar un promedio de un 36 % de la demanda total en Sevilla. Al aumentar la demanda de refrigeración (y por tanto su demanda de calor equivalente) y disminuir la demanda de calefacción, el perfil de demanda de calor resultante se adapta mejor a la producción solar. El rendimiento solar sigue una pauta diferente. Para una misma localización disminuye conforme la fracción solar total aumenta, pasando por ejemplo de un 21 % en el caso de las viviendas construidas en Burgos antes del 1981 a un 10 % en los edificios construidos a partir de 2013. En Madrid se alcanzan los mejores rendimientos solares, entre un 7 y un 8 % más altos que en Burgos y Sevilla, superando el 30 % en los edificios construidos antes de 1981.

El caso en el que tiene mayor impacto la incorporación de energía solar son las viviendas construidas en Sevilla antes del año 2006, donde la mejora de emisiones alcanzada supera un 50 %. Para Burgos, Madrid y el resto de años de construcción correspondientes a Sevilla encontramos una mejora de las emisiones promedio superior a 30% respecto al caso base analizado.

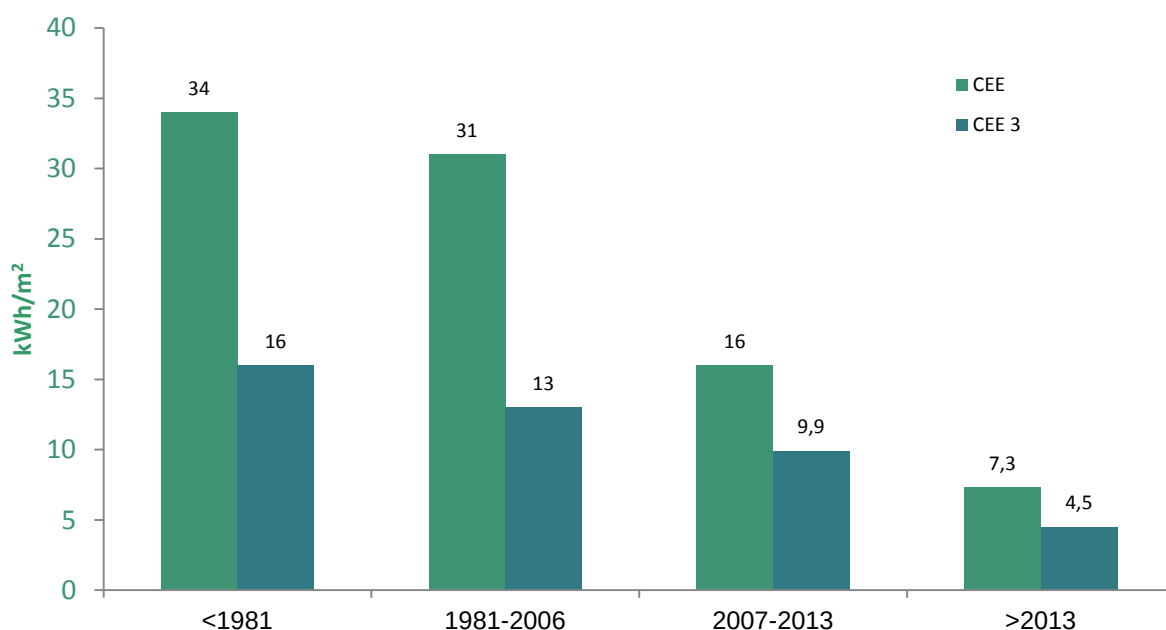


Gráfico 44: Contribución solar para vivienda unifamiliar con las tres aplicaciones para la localidad de Sevilla

6.4.2 Viviendas plurifamiliares 4 y 8 plantas

La incorporación de instalaciones solares en los edificios plurifamiliares de 4 plantas representa una reducción del 20% de las emisiones de CO₂ y son la tercera tipología edificatoria en cuanto a mayor reducción de emisiones promedio y también en cuanto a fracción solar total alcanzada, con un valor del 27%. En este caso se logra una mejora de la calificación energética que supone el cambio de letra

en 4 de los 12 casos. La mejora de letra se produce en todos los edificios construidos posteriormente a 1981 y para los construidos en Madrid posteriormente a 2013. La reducción de emisiones es un 12 % mayor que en el caso de incorporación de energía solar para satisfacer solo la demanda de ACS.

La fracción solar total alcanzada y la reducción de emisiones aumentan con el año de construcción y con la mayor disponibilidad de energía solar de la localización. La mayor fracción solar obtenida corresponde a los edificios construidos en Sevilla posteriormente al año 2013, donde con una fracción solar total del 54 % se logra una reducción de emisiones del 45%. El caso en el que menor contribución solar total existe, edificios construidos en Burgos antes de 1981, se produce una mejora de las emisiones de un 9 %. Las mayores reducciones de emisiones se producen en Sevilla donde fracciones solares promedio del 38 % consiguen reducciones de emisiones de un 35% y el cambio de letra, como se ha mencionado anteriormente.

En este caso las coberturas solares proporcionadas a las demandas de refrigeración y calefacción son menores que en el caso de las viviendas unifamiliares, a pesar de que la distribución de demandas es similar en ambos tipos de edificios tal y como se vio en el apartado 6.1. La fracción solar sobre la demanda de refrigeración oscila entre el 4% alcanzado en edificios construidos en Madrid antes del año 1981, hasta el 8% alcanzado en los edificios construidos después de 2013. En el caso de Sevilla, la fracción solar va del 8 % alcanzado en edificios construidos antes del año 1981, hasta un 19% alcanzado en edificios construidos posteriormente a 2013. La fracción solar sobre calefacción alcanza un 5 % en los edificios construidos en Burgos antes del año 1981 y llega hasta un 10% en los edificios construidos a partir de 2013.

En Sevilla, sin embargo, la fracción solar correspondiente a calefacción va de un 20 a un 47 % para los mismos periodos mencionados anteriormente.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	40	66%	5%	0%	12%	67,4E	9%	No
	1981-2006	40	66%	5%	0%	13%	53,4E	12%	No
	2007-2013	40	68%	6%	0%	18%	29,1D	12%	No
	>2013	40	71%	10%	0%	33%	11,5B	21%	No
Madrid	<1981	40	80%	9%	4%	17%	53,5E	16%	No
	1981-2006	40	76%	10%	4%	18%	42,8E	19%	No
	2007-2013	40	69%	14%	7%	24%	24,0D	11%	No
	>2013	40	73%	20%	8%	36%	8,9A	26%	Si
Sevilla	<1981	40	77%	20%	8%	28%	24,2E	29%	No
	1981-2006	40	79%	22%	9%	30%	19,9D	37%	Si
	2007-2013	40	81%	35%	12%	41%	10,2C	29%	Si
	>2013	40	89%	47%	19%	54%	3,7A	45%	Si

Tabla 69: Contribución solar para viviendas plurifamiliar 4 plantas con las tres aplicaciones

En el siguiente gráfico se muestra como se ven reducidas las emisiones tras incorporar la energía solar para cada periodo constructivo considerado en Sevilla, donde más significativo es este efecto. La reducción de emisiones pasa de un 29 % en los edificios construidos antes de 1981 a un 45% para aquellos edificios construidos posteriormente a 2013.

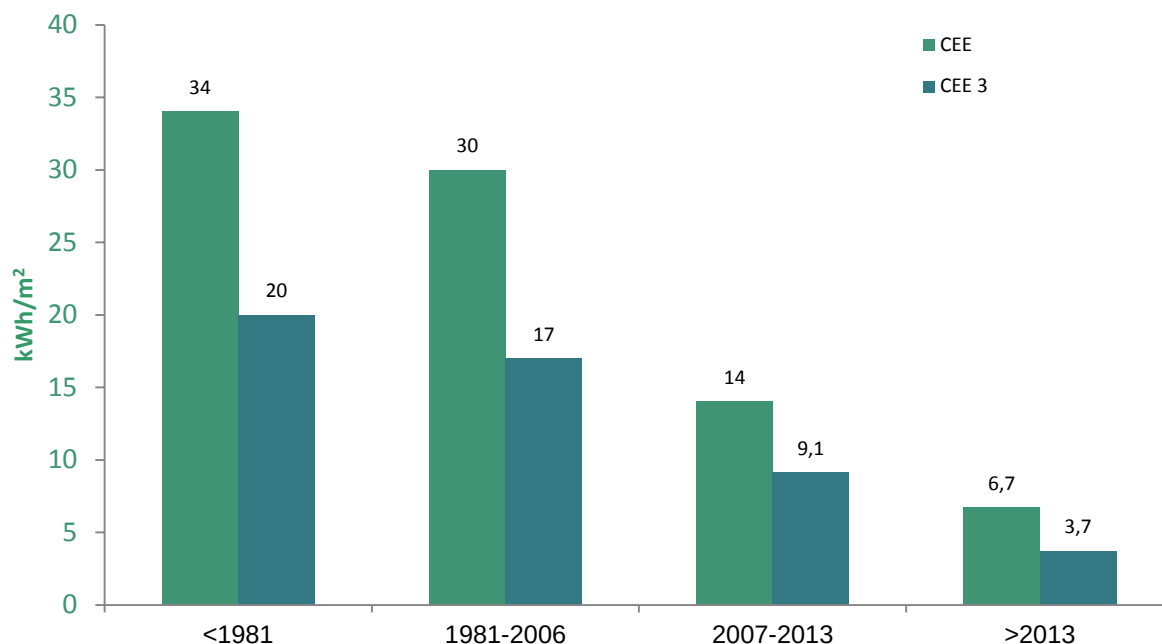


Gráfico 45: Contribución solar para vivienda plurifamiliar 4 plantas con las tres aplicaciones para la localidad de Sevilla

La incorporación de energía solar para abastecer todas las demandas térmicas supone una reducción de emisiones un 12% mayor que en el caso en el que se cubría solo ACS.

En el siguiente gráfico se compara la reducción de emisiones obtenida para la localidad de Sevilla tras la incorporación de energía solar térmica para cubrir solo la demanda de ACS, con la reducción de emisiones obtenida cuando se abastecen las tres aplicaciones para todos los periodos constructivos. En los edificios construidos antes de 1981 las emisiones se reducen un 17 % más que cuando se incorporaba energía solar solo para ACS. Entre 1981 y 2006 un 24 %, entre 2007 y 2013 un 29 % y posteriormente a 2013 un 45 %.

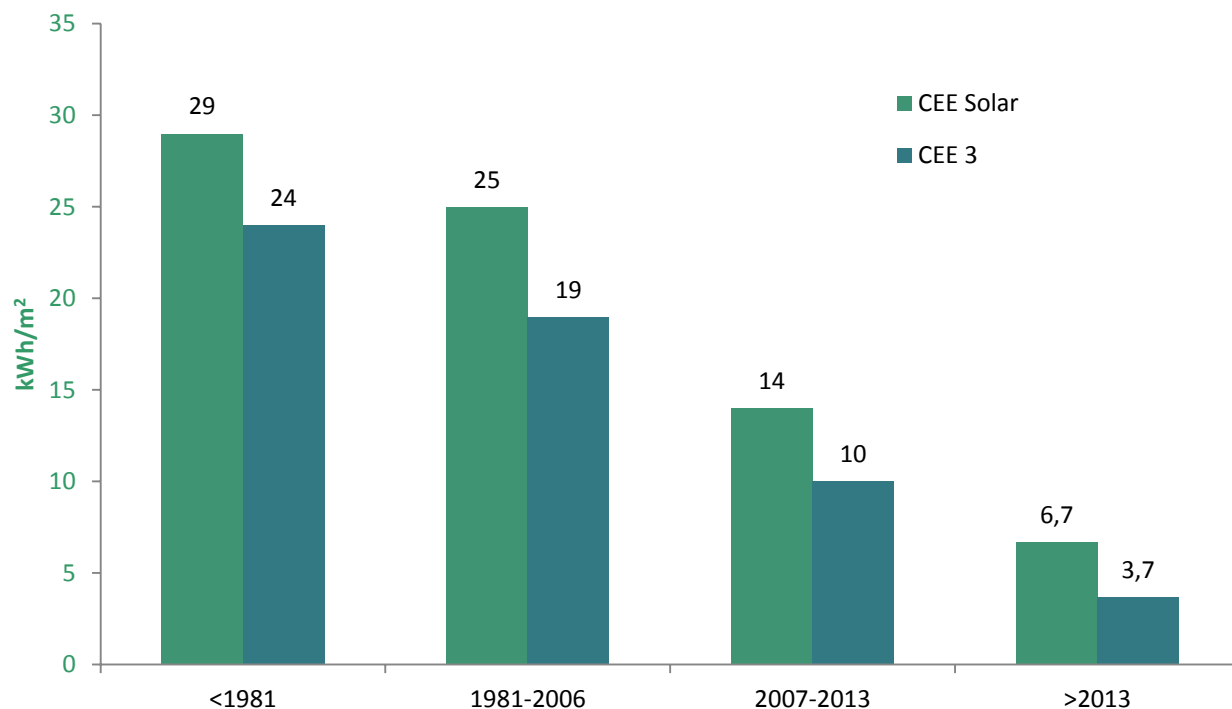


Gráfico 46: Comparativa de reducción de emisiones para ACS y las tres aplicaciones en vivienda plurifamiliar 4 plantas en Sevilla

En viviendas plurifamiliares de 8 plantas las emisiones se reducen un promedio de un 14%, siendo el caso en el que mayor reducción se producen los edificios construidos en Sevilla posteriormente a 2013, donde éstas se reducen un 35% con una fracción solar del 40 %.

La calificación energética mejora de letra en 4 de los 12 casos analizados, tres en Sevilla y también en Burgos entre 2007 y 2013. La reducción de emisiones es mayor en Sevilla, del orden del 25 % de promedio para todos los periodos constructivos, que en Burgos y Madrid, donde la reducción de emisiones promedio es del 10 y 12% respectivamente. La reducción de emisiones es un 13 % mayor que la alcanzada en el caso de solo abastecer la demanda de ACS con energía solar.

En Sevilla, donde la demanda de refrigeración es mayor, para todos los periodos, la distribución de la demanda de refrigeración representa de promedio más de un 35% de la demanda total. La fracción solar sobre la demanda de refrigeración en Sevilla parte del 5 % alcanzado en edificios construidos antes del año 1981 hasta el 8 % alcanzado en los edificios construidos después de 2013. En calefacción para los mismos periodos la fracción solar pasa de un 15 % a un 59 %.

En Burgos, donde las demandas de calefacción representan los mayores valores, un 78% respecto a la demanda total, la incorporación de energía solar térmica proporciona una cobertura de fracción solar de calefacción que va desde un 5 % en el periodo anterior a 1981 hasta un 6% en los posteriores a 2013.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	72	60%	5%	0%	9%	49,1E	9%	No
	1981- 2006	72	60%	5%	0%	10%	39,5 E	11%	No
	2007- 2013	72	62%	7%	0%	14%	21,2C	13%	Si
	>2013	72	70%	6%	0%	20%	11,3B	8%	No
Madrid	<1981	72	65%	6%	5%	11%	40,9E	13%	No
	1981- 2006	72	65%	7%	6%	12%	33E	11%	No
	2007- 2013	72	65%	11%	10%	18%	18,7C	14%	No
	>2013	72	74%	10%	11%	23%	9,3B	15%	No
Sevilla	<1981	72	76%	15%	5%	19%	18,2D	22%	Si
	1981- 2006	72	76%	17%	5%	21%	15,3D	25%	Si
	2007- 2013	72	78%	29%	7%	30%	8,3C	17%	No
	>2013	72	82%	59%	8%	40%	3,6A	35%	Si

Tabla 70: Contribución solar para las tres aplicaciones en viviendas plurifamiliares de 8 plantas

Las instalaciones solares en los edificios plurifamiliares de 8 plantas presentan mejores rendimientos solares que los de 4 plantas. Un 5% mayor de promedio, contrariamente a lo que ocurre con la fracción solar total promedio, que es un 10 % mayor para los edificios de 4 plantas.

Los rendimientos solares en el caso de los edificios de 8 plantas presentan valores, en casi todos los casos, superiores o próximos al 30 %. Analizando el comportamiento para cada localidad, se observa como conforme aumenta el año de construcción aumenta la fracción solar total por los mismos motivos que se explicaron para el caso de las viviendas unifamiliares. Los rendimientos solares en este caso también disminuyen pero menos acusadamente que en el caso de las viviendas unifamiliares.

Al igual que ocurría en el caso de las viviendas unifamiliares, la localización que presenta mejores rendimientos solares promedio es Madrid, aunque esta mejora no es muy significativa y se cifra en torno a un 1%.

El siguiente gráfico muestra la reducción de emisiones obtenida en Sevilla para todos los periodos constructivos. La mayor reducción de emisiones de CO₂ se produce a partir de 2013 donde estas se reducen un 35 %.

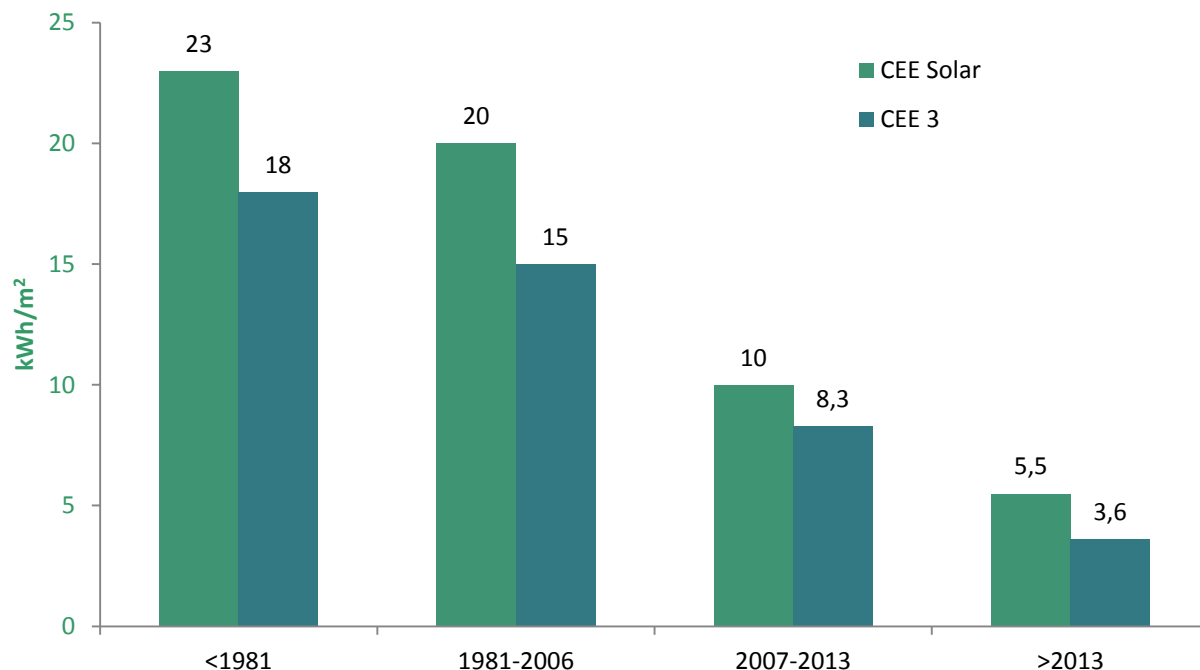


Gráfico 47: Contribución solar para vivienda plurifamiliar 8 plantas con las tres aplicaciones para la localidad de Sevilla

6.4.3 Oficinas de 4 y 8 plantas

Los edificios de oficinas 4 plantas y 8 plantas reducen sus emisiones un 8 y un 5 % de promedio respectivamente y las fracciones solares totales son un 12 y un 7 % respectivamente.

Las oficinas, después de los Centros comerciales son los edificios que menos disminuyen sus emisiones. La reducción de emisiones adicional obtenida, respecto a las obtenidas en el caso de incorporar energía solar solo para abastecer la demanda de ACS, es de un 5 y un 2 % para los edificios de oficinas de 4 y 8 plantas respectivamente. A pesar de este hecho, se consigue una mejora en la calificación energética que supone un cambio de letra en 7 de los 12 casos analizados, 6 más que en el caso de incorporar solar solo para ACS.

La reducción de emisiones y la fracción solar total no sigue en este caso un patrón claro en el que se pueda deducir que el año de construcción o la localización tengan un efecto en ellas. No obstante, se observa que el caso en el que mayor reducción de emisiones se producen son los edificios de oficinas de 4 plantas ubicados en Sevilla construidos entre 2007 y 2013, donde la reducción alcanza un valor del 15 %. Los casos en los que menos se aprecia el efecto de incorporar energía solar son los edificios de oficinas de 8 plantas construidos en Sevilla entre 1981 y 2013, y los edificios de 4 y 8 plantas construidos en Madrid posteriormente a 2013 donde la reducción de emisiones es inapreciable.

Se ha considerado el mismo número de captadores para todas las localidades exceptuando los edificios construidos entre 2007 y 2013, ya que la fracción solar mínima de ACS es mayor para este periodo. Las fracciones solares obtenidas por tipo de demanda son mayores en el caso de los edificios de 4 plantas pero muy similares a los de 8 plantas. La mayor diferencia la presenta la fracción solar sobre la demanda de calefacción, que en los edificios de oficinas de 4 y 8 plantas de Sevilla alcanza el 18 y 19 % respectivamente. La fracción solar para refrigeración es nula o inferior al 5% en casi todos los casos.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	20	50%	9%	1%	10%	43,7D	10%	Si
	1981-2006	20	50%	12%	1%	12%	37,1D	10%	No
	2007-2013	34	60%	23%	1%	18%	29,6B	15%	Si
	>2013	20	55%	21%	5%	17%	17 A	6%	Si
Madrid	<1981	20	100%	9%	3%	11%	37,4D	12%	No
	1981-2006	20	100%	9%	3%	11%	33,4C	11%	Si
	2007-2013	20	70%	19%	7%	15%	30,2C	9%	No
	>2013	20	68%	16%	3%	10%	19,2B	0%	No
Sevilla	<1981	20	80%	15%	3%	10%	30,1D	6%	No
	1981-2006	20	84%	14%	3%	10%	26,5C	10%	Si
	2007-2013	20	84%	23%	2%	9%	28,9C	7%	No
	>2013	20	95%	21%	3%	8%	18,4B	5%	No

Tabla 71: Contribución solar para oficina 4 plantas con las tres aplicaciones

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	30	55%	3%	0%	5%	35,1D	3%	No
	1981 - 2006	30	57%	3%	0%	5%	30,6D	6%	No
	2007 - 2013	25	105%	5%	0%	9%	20,6B	5%	No
	>2013	30	122%	8%	0%	12%	13,2A	7%	No
Madrid	<1981	30	63%	5%	0%	6%	31,6D	6%	No
	1981 - 2006	30	63%	5%	0%	5%	28,4C	7%	Si
	2007 - 2013	42	71%	14%	0%	8%	22,2B	4%	No
	>2013	30	67%	12%	1%	7%	15,3B	0%	No
Sevilla	<1981	30	71%	12%	0%	6%	24,8C	11%	Si
	1981 - 2006	30	73%	12%	0%	6%	24,8C	0%	No
	2007 - 2013	30	80%	26%	1%	6%	22,2C	0%	No
	>2013	30	80%	26%	1%	6%	16,8B	6%	No

Tabla 72: Contribución solar para oficina 8 plantas con las tres aplicaciones

Los rendimientos solares en el caso de oficinas se comportan de forma similar a como hemos visto para el caso de edificios plurifamiliares. Los edificios de oficinas de 8 plantas, con un 31 %, tienen rendimientos solares promedio un 6% más altos que los de 4 plantas cuyo valor es del 25 %. La localización que presenta mejores rendimientos solares para ambos tipos de edificios, de 4 y 8 plantas, es Burgos donde los rendimientos alcanzados son del 30 y 36 % respectivamente.

Los casos en los que el rendimiento solar es menor, son los edificios ubicados en Sevilla donde se alcanzan rendimientos promedios para todos los años de construcción del 30 y el 36 % para los edificios de 4 y 8 plantas respectivamente.

Si analizamos cómo evoluciona la reducción de emisiones obtenida conforme avanza el año de construcción para el caso de edificios de 4 plantas construidos en Burgos, vemos que, como se mencionaba anteriormente, no hay un patrón claro de comportamiento, siendo la disminución de emisiones del 15 % la mayor en el periodo 2007 – 2013 que en los otros periodos considerados.

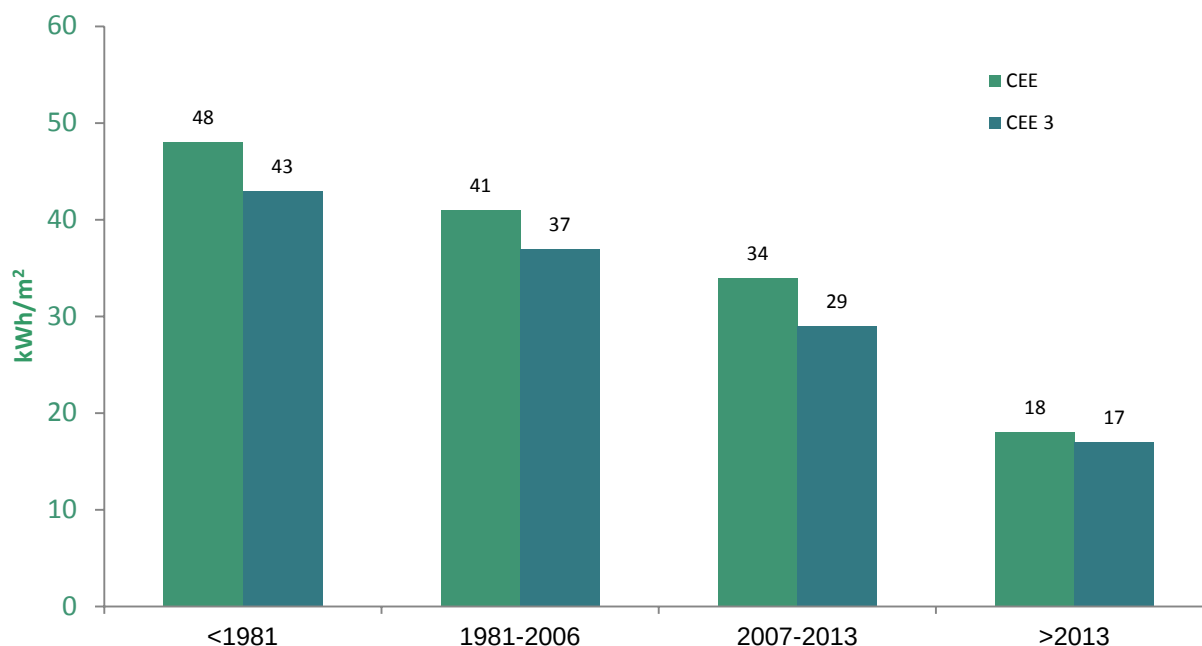


Gráfico 48: Contribución solar para oficinas de 4 plantas con las tres aplicaciones para la localidad de Burgos

6.4.4 Hospitales

Los hospitales, con una reducción de emisiones promedio del 24 %, representan la segunda tipología edificatoria donde mayor reducción de emisiones se producen al incorporar energía solar para abastecer todas las demandas térmicas del edificio y son además la tipología edificatoria donde más efectiva resulta la incorporación de energía solar.

La reducción de emisiones, con respecto a la incorporación de energía solar para abastecer solo la demanda de ACS, es un 9 % mayor en años anteriores a 1981 y un 5 % mayor entre 1981 y 2006. La fracción solar total promedio es del 22 % y el grado de efectividad es del 109 %, es decir, que por cada 1% de fracción solar se consigue una reducción de emisiones de casi un 10 % mayor.

Las mayores reducciones de emisiones se consiguen en Sevilla en los años de construcción anteriores a 2006, donde las emisiones se reducen un 40%, y en Madrid antes de 1981. En los hospitales construidos en Sevilla posteriormente a 2006 no se aprecia ninguna influencia sobre las emisiones. No se aprecia una clara influencia de la localización y año de construcción en la fracción solar total obtenida, excepto en el caso de Burgos que aumenta con el año de construcción de un 18 % antes de 1981 al 31 % obtenido después de 2013.

En 8 de los 12 casos considerados se consigue una mejora de la calificación energética que supone un cambio de letra. En 3 de estos 8 casos se mejora la calificación dos letras y en 2 se mejora hasta tres letras. Los casos en los que se mejora la calificación tres letras son los hospitales construidos en Madrid antes de 1981 y en Sevilla entre 1981 y 2013.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	220	60%	9%	11%	18%	40,9E	31%	Si
	1981-2006	220	60%	8%	7%	18%	35,7D	33%	No
	2007-2013	100	66%	11%	0%	24%	20,5B	5%	Si
	>2013	100	93%	6%	0%	31%	8,7A	13%	Si
Madrid	<1981	340	70%	25%	5%	26%	33,4D	40%	No
	1981-2006	330	70%	17%	1%	21%	31,3D	38%	Si
	2007-2013	150	96%	11%	1%	26%	15,9B	32%	No
	>2013	150	95%	15%	1%	27%	9,2A	16%	No
Sevilla	<1981	176	70%	25%	1%	20%	27,9E	40%	No
	1981-2006	176	70%	25%	1%	19%	25,6D	40%	Si
	2007-2013	100	71%	10%	0%	16%	22,1C	0%	No
	>2013	96	70%	8%	0%	16%	11 B	0%	No

Tabla 73: Contribución solar para hospital con las tres aplicaciones

Los Hospitales son los edificios que mejores rendimientos solares presentan, un 41 % de promedio para todos los casos. En este caso, Burgos es la localidad que presenta un mayor rendimiento solar, un 12 % más que en Madrid y Sevilla. En los Hospitales de Burgos construidos a partir de 2006 se supera el 50 % de rendimiento solar alcanzando, en el caso de aquellos que fueron construidos a partir de 2006, un rendimiento solar del 73 %. Esto es debido principalmente a la brusca disminución de la demanda de calefacción que se produce a partir de ese año y al aumento de la demanda de refrigeración, que hace que las tres demandas de ACS, calefacción y refrigeración queden compensadas entre sí y que puedan satisfacerse con un menor número de captadores, que en los casos de los edificios construidos antes de 2006, para dar fracciones solares incluso más altas.

En el siguiente gráfico se muestra, a modo de ejemplo para Madrid, como el año de construcción influye en la disminución de emisiones. En este caso, la reducción de emisiones es mayor en los edificios construidos antes de 2006, donde las emisiones pasan de reducirse un 40 % en los edificios construidos antes de 1981 a un 16 % en los edificios construidos posteriormente a 2016.

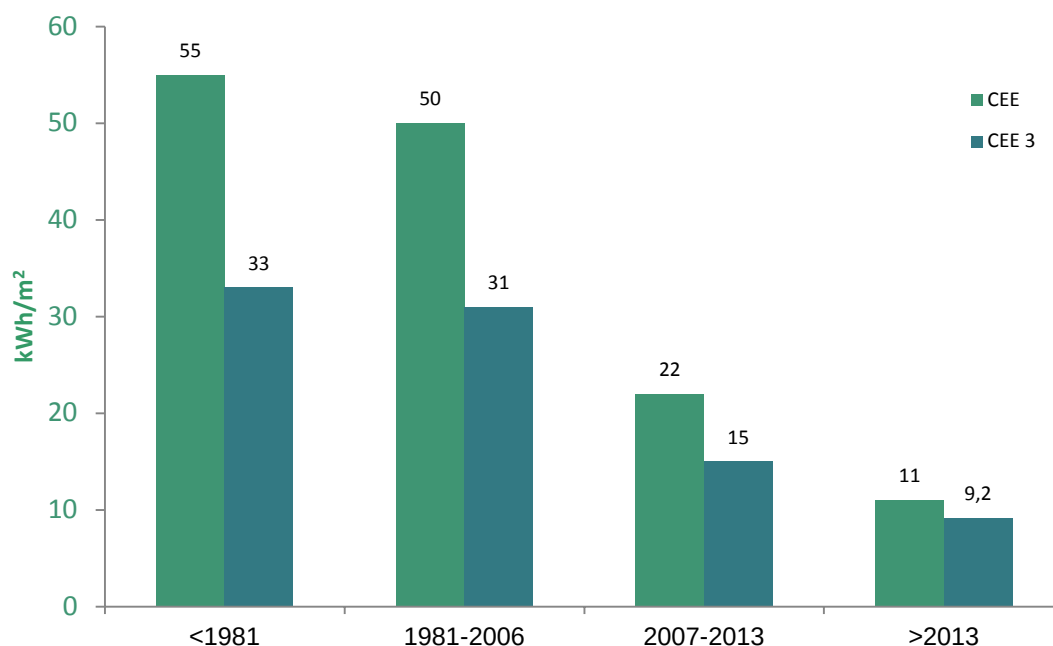


Gráfico 49: Contribución solar para hospital en la localidad de Madrid con las tres aplicaciones

6.4.5 Polideportivos

La incorporación de energía solar térmica en polideportivos supone una reducción de emisiones promedio para todas las localizaciones y periodos constructivos de un 18 %. Se produce una mejora de la calificación energética que supone el cambio de letra en 6 de los 12 casos analizados. Solo los polideportivos de Sevilla construidos posteriormente a 2013 alcanzan la letra A en la calificación energética. La reducción de emisiones promedio para todos los casos no es significativamente mayor que en el caso de abastecer solo las demandas de ACS y piscina.

En este caso las mayores reducciones se consiguen en los años de construcción anteriores al año 2006 ya que en los años posteriores, al disponer el caso base considerado de energía solar para satisfacer las demandas de ACS y piscina por aplicación de la exigencia HE4, y dada la importancia que estas demandas tiene sobre el total, su efecto no se deja notar de forma sensible. La mayor reducción de emisiones corresponde a los polideportivos construidos en Sevilla antes de 1981, donde las emisiones se reducen un 40 %.

La fracción solar total promedio alcanzada para todas las localizaciones y periodos constructivos es de un 40 %, la segunda mayor fracción solar para todas las tipologías edificatorias después de las viviendas unifamiliares. Ésta, aumenta conforme aumenta el año de construcción y conforme nos ubicamos en localizaciones donde la radiación solar es mayor. En este caso, no existe una correlación directa con la disminución de emisiones promedio alcanzada, que como se ha visto, es del 18 %. La mayor fracción solar afecta a las demandas de ACS y piscina donde se alcanza un 61 % de promedio. La segunda mayor fracción solar afecta a la demanda de calefacción donde se alcanza un 23 % seguida por la de refrigeración donde se cubre un 3 % de la demanda.

El caso en el que mayor contribución solar total se alcanza es en los polideportivos construidos en Sevilla antes del año 2006, donde se llega a cubrir un 49 % de la demanda total (73 % ACS, 30% Calefacción, 4% refrigeración) y se reducen las emisiones un 40 %. El caso en el que menor contribución solar total se alcanza, corresponde a los polideportivos construidos en Burgos anteriormente a 1981 donde se obtiene una fracción solar de un 30 % (51% ACS, 7% Calefacción, 3% Refrigeración). La reducción de emisiones conseguida en este caso es del 25 %.

En los casos construidos posteriormente a 2006, el efecto de la contribución solar sobre la reducción de emisiones es muy escaso. Éstas se reducen un 4% que contrasta con el 32 % de reducción promedio obtenido en años anteriores a 2006 con fracciones solares totales similares.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	390	51%	7%	3%	30%	54,1C	75%	Si
	1981-2006	375	50%	8%	2%	34%	46C	73%	Si
	2007-2013	350	50%	17%	0%	39%	35B	85%	No
	>2013	320	50%	19%	0%	37%	33B	100%	No
Madrid	<1981	380	60%	15%	4%	37%	47,5C	69%	Si
	1981-2006	380	60%	15%	4%	39%	41,9C	86%	No
	2007-2013	370	60%	23%	3%	42%	34,7B	97%	No
	>2013	370	60%	26%	2%	40%	31,2B	100%	No
Sevilla	<1981	400	73%	30%	4%	49%	34,5B	60%	Si
	1981-2006	400	73%	29%	4%	49%	36,2B	67%	Si
	2007-2013	400	70%	42%	4%	46%	32,3B	97%	No
	>2013	400	70%	42%	4%	44%	28,9A	97%	Si

Tabla 74: Contribución solar para polideportivo con las tres aplicaciones

Como se vio en el apartado 4 “Metodología”, para los polideportivos construidos antes de 2006 se consideró la alternativa de que las demandas de ACS, piscina y calefacción fueran abastecidas por gasóleo. La calificación energética mejora en esos casos suponiendo el cambio de letra en todos ellos, aunque la reducción de emisiones no es sustancialmente mayor que en los casos que emplean gas natural en el caso de Burgos y Sevilla. Si lo es en el caso de Madrid, donde la reducción de emisiones al incorporar energía solar en los casos que utilizan gasóleo es un 10% mayor.

El siguiente gráfico muestra la reducción de emisiones obtenida en Sevilla para todos los periodos constructivos. La mayor reducción de emisiones de CO₂ se produce antes de 1981 donde éstas se reducen un 40 %.

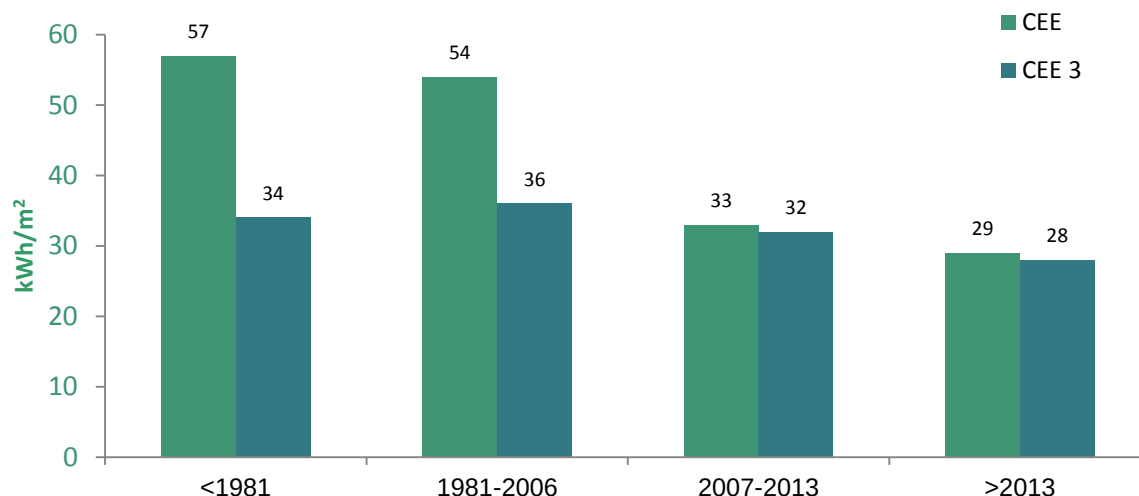


Gráfico 50: Contribución solar para polideportivo con las tres aplicaciones para la localidad de Sevilla

Los Polideportivos presentan un rendimiento solar promedio del 35 %, que no presenta grandes diferencias en las diferentes localizaciones. El rendimiento solar promedio para las aplicaciones que abastecían solo ACS y piscina es de un 57 %. Esta diferencia se debe a la menor influencia que tienen las demandas de calefacción y refrigeración sobre la demanda total, ya que la demanda de ACS y piscina supera en todos los casos considerados más del 50 % de la demanda total (60 % de la demanda total de media). La localidad que mayor rendimiento solar presenta es Madrid donde se alcanza un 37 % en los edificios construidos antes del 1981. La fracción solar total alcanzada es de un 40 % de promedio, siendo mayor en el caso de Sevilla, un 12 % mayor que en el caso de Burgos y un 8 % mayor que en el caso de Madrid

6.4.6 Hoteles

Los hoteles reducen las emisiones un 10 % de promedio para todos los casos con una fracción solar total media de un 24 %. Su grado efectividad es de un 42 %, la menor de todas las tipologías edificatorias.

La mayor mejora de eficiencia energética se produce en los hoteles ubicados en Madrid y construidos entre 1981 y 2006, donde se ven reducidas un 24 %. La zona donde en mayor medida se nota la reducción de emisiones es Sevilla, con un 12 % de reducción media para todos los años de construcción considerados, pero no hay grandes diferencias con respecto al resto de localizaciones. La reducción de emisiones es menos apreciable conforme avanza el año de construcción para todas las localizaciones, disminuyendo drásticamente en aquellos edificios construidos después de 2006.

La calificación energética mejora en 9 de los 16 casos al menos una letra, y dos letras en dos casos, hoteles construidos entre 2007 y 2013 en Burgos entre 1981 y 2006 en Madrid. El mayor número de casos de mejora de la calificación energética se produce en Las Palmas.

La mayor fracción solar total se alcanza en los hoteles de Sevilla construidos posteriormente a 2013 con un 52 %. Los siguientes casos que presentan las contribuciones solares más altas son Los hoteles construidos en Burgos antes del año 2006.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	400	60%	9%	6%	18%	40,7D	18%	Si
	1981-2006	400	60%	9%	5%	19%	36,9D	16%	No
	2007-2013	500	70%	18%	8%	33%	18,1B	5%	Si
	>2013	340	60%	14%	4%	30%	16,1B	0%	No
Madrid	<1981	360	71%	7%	0%	16%	39,2D	15%	Si
	1981-2006	360	73%	19%	1%	24%	32,1C	24%	Si
	2007-2013	300	71%	17%	2%	26%	19,1B	5%	No
	>2013	180	73%	4%	0%	25%	15,6B	0%	No
Sevilla	<1981	340	70%	18%	1%	20%	28,4D	20%	Si
	1981-2006	340	70%	21%	1%	21%	26 D	21%	Si
	2007-2013	150	70%	8%	0%	22%	15,9B	6%	No
	>2013	140	70%	4%	0%	52%	12,5B	0%	No
Las Palmas	<1981	193	70%	0%	0,5%	20%	42C	13%	Si
	1981-2006	193	70%	0%	0,5%	19%	40C	13%	Si
	2007-2013	193	70%	0%	0,5%	20%	31C	3%	No
	>2013	193	70%	0%	0,5%	21%	25C	4%	Si

Tabla 75: Contribución solar para hotel con las tres aplicaciones

Los hoteles presentan un rendimiento solar promedio del 38 %. En este caso, Sevilla y Madrid son las localizaciones con mayor rendimiento alcanzando un 42 % de promedio. Los hoteles que mayor rendimiento solar presentan son los construidos en Sevilla posteriormente a 2013, donde se alcanzan valores superiores al 50 %. En general, en aquellos casos en los que las demandas se encuentran más equilibradas, se alcanzan mayores rendimientos solares.

En el gráfico que se presenta a continuación se muestra cómo evoluciona la reducción de emisiones obtenida para Madrid en todos los periodos considerados en el estudio. Se aprecia como la reducción de emisiones obtenida para los años anteriores a 1981 y periodo 1981-2006, son mayores que en los periodos posteriores a 2006, donde los edificios ya se habían visto afectados por la aplicación de la sección HE4 del CTE y no se aprecian diferencias en las emisiones con la incorporación de la solar térmica para el abastecimiento de todas las demandas térmicas.

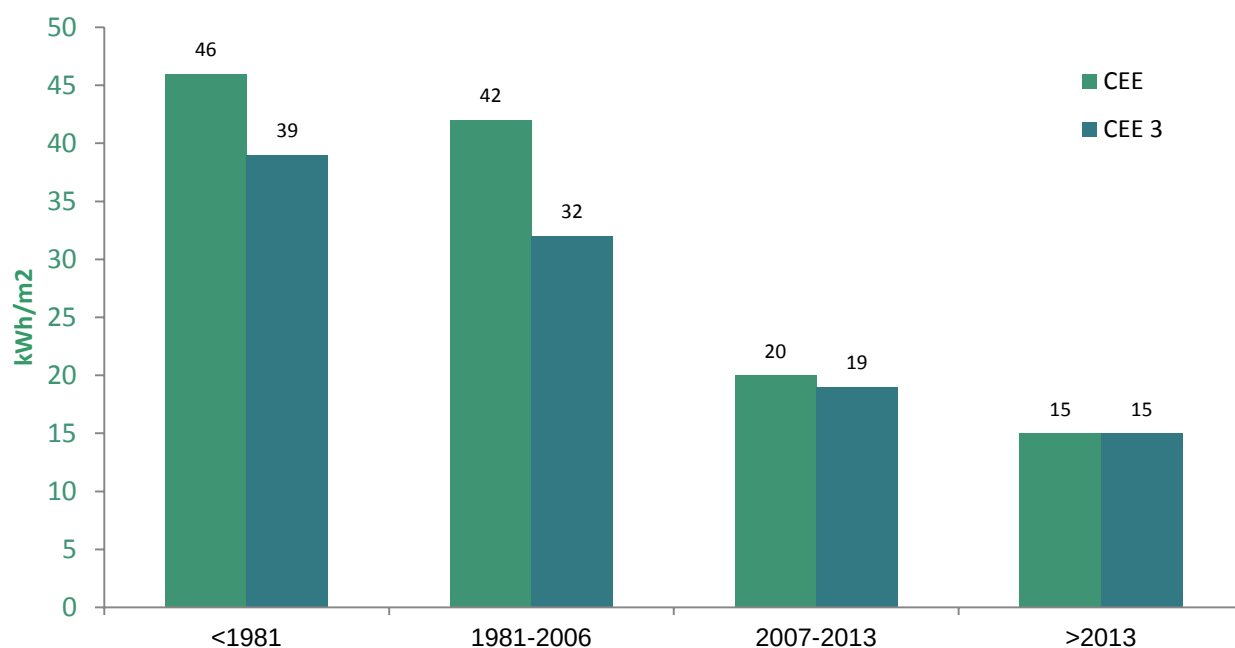


Gráfico 51: Emisiones de CO₂ de hotel en la localidad de Madrid en diferentes años

6.4.7 Centros comerciales

Los centros comerciales son la tipología edificatoria donde menos se reducen las emisiones. La reducción de emisiones promedio para todos los casos es del 2 % para una fracción solar también promedio del 3 %.

Los centros comerciales de Madrid construidos posteriormente a 2013, y los de Sevilla construidos entre 1981 y 2006, son los que mayores niveles de reducción presentan llegando a alcanzar un 5 %. Los casos en los que las emisiones se reducen menos, llegando incluso a resultar inapreciables, son los centros comerciales de Sevilla construidos posteriormente a 1981, los construidos en Madrid entre 2007 y 2013 y los construidos en Burgos antes de 2006. La reducción de emisiones obtenida como resultado de incorporar energía solar para abastecer las tres demandas térmicas, es un 2 % mayor que la obtenida para abastecer solamente la demanda de ACS y no se producen cambios de letra correspondientes a la calificación energética.

En los centros comerciales la demanda de ACS es muy pequeña comparada con la demanda térmica total del edificio, como se explica en el capítulo 6.1 de demandas. Alcanzando la fracción solar de ACS exigida por la sección HE4, obtenemos fracciones solares para calefacción menores del 10 % excepto en el caso de los centros comerciales de Sevilla construidos posteriormente a 2013. La fracción solar en refrigeración es nula en todos los casos excepto para los centros comerciales construidos en Madrid entre el año 2007 y 2013.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	FS Calef. (%)	FS Refr. (%)	FS total	Calificación CE3X	Mejora de EE	¿Cambio de letra?
Burgos	<1981	65	40%	3%	0%	3%	36,8E	97%	No
	1981-2006	65	40%	3%	0%	3%	26,4D	96%	No
	2007-2013	65	60%	4%	0%	3%	20 A	100%	No
	>2013	65	40%	5%	0%	3%	19 A	100%	No
Madrid	<1981	65	50%	3%	0%	2%	31,6 D	97%	No
	1981-2006	65	50%	5%	0%	3%	24,7C	96%	No
	2007-2013	65	70%	5%	1%	3%	19 A	100%	No
	>2013	65	61%	7%	0%	3%	18,7A	95%	No
Sevilla	<1981	65	66%	7%	0%	3%	20,8C	95%	No
	1981-2006	65	69%	7%	0%	2%	18,3C	100%	No
	2007-2013	65	70%	9%	0%	2%	16 A	100%	No
	>2013	65	70%	11%	0%	2%	17 A	100%	No

Tabla 76: Contribución solar para centro comercial con las tres aplicaciones

En el siguiente gráfico se muestra un ejemplo de cómo afecta el año de construcción en la reducción de emisiones para los centros comerciales construidos en Madrid. En ningún caso la mejora de emisiones es superior a un 5 %. El periodo constructivo donde mayor mejora de emisiones se produce es en el posterior a 2013.

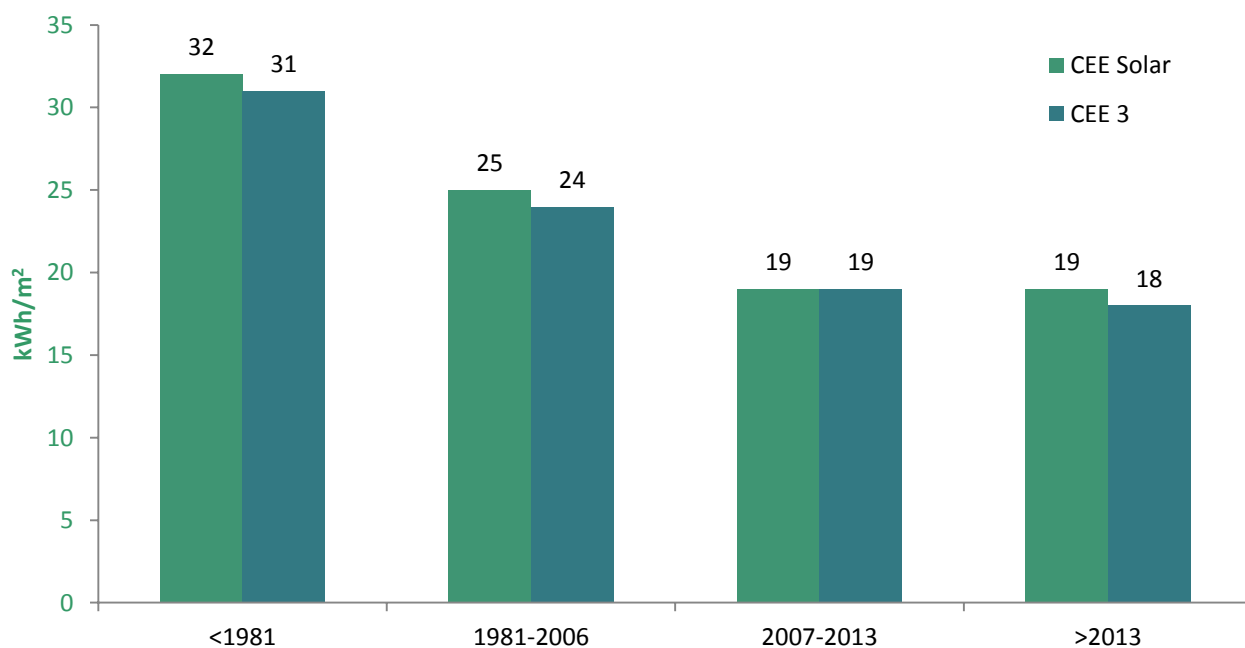


Gráfico 52: Contribución solar para centro comercial en Madrid con las tres aplicaciones

Los centros comerciales presentan unos rendimientos solares promedio del 30 %. Superando el 30 % en los casos correspondientes a las localidades de Burgos y Madrid (35 y 34 % respectivamente), un 15 y 14 % mayor que en el caso de Sevilla en el que rendimiento medio es de un 20%. El caso que presenta un mayor rendimiento es el correspondiente a los centros comerciales construidos en Burgos antes del año 1981 donde se alcanza un rendimiento del 47 %. Los rendimientos solares decrecen conforme aumenta el año de construcción.

6.4.8 Análisis de la reducción de emisiones en todas las tipologías edificatorias

A continuación se analiza cómo se ven reducidas las emisiones de forma simultánea para todas las tipologías edificatorias en todas las localidades. De esta manera se pueden comparar los diferentes resultados obtenidos para los diferentes edificios. Para ello, se ha elegido un periodo constructivo determinado, aquellos edificios construidos antes de 1981.

En el siguiente gráfico se aprecia como los hospitales, con un 40 %, son los edificios que mayor reducción de emisiones presentan, seguidos por las viviendas unifamiliares que reducen sus emisiones un 36% y por los polideportivos que reducen sus emisiones un 31%. Las tipologías edificatorias que menos reducen sus emisiones son los centros comerciales que reducen sus emisiones solo un 3%, seguidos por los edificios de oficinas de 8 plantas que reducen sus emisiones un 6%.

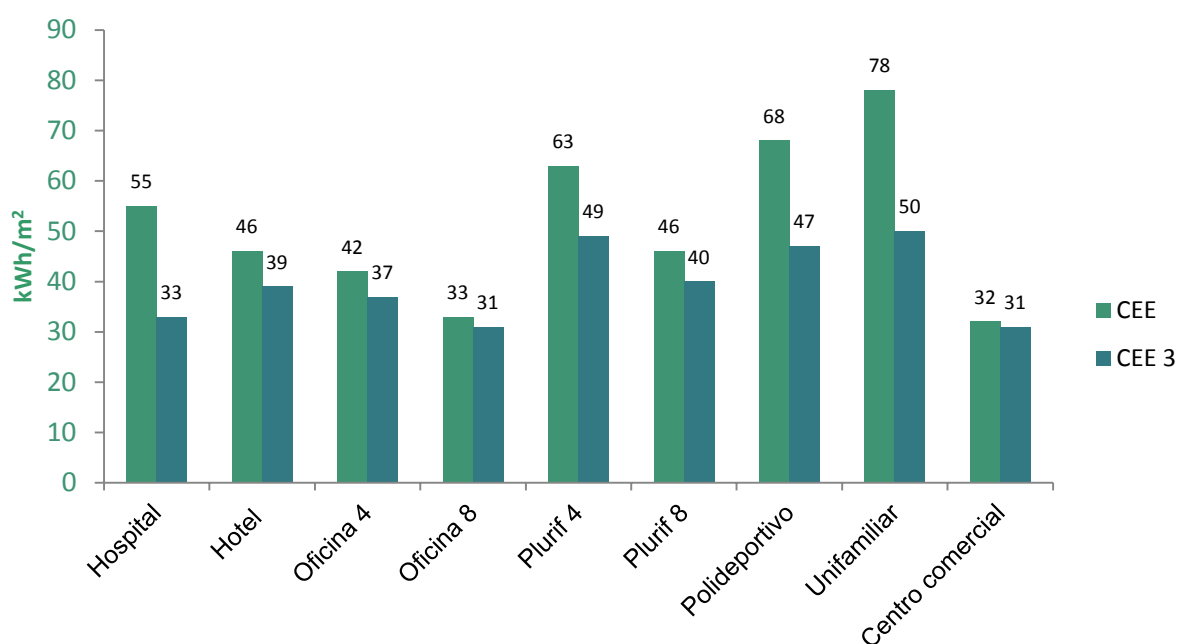


Gráfico 53: Emisiones de CO₂ para todas las edificaciones en Madrid construidas año anteriores a 1981

En Burgos, sin embargo, la mayor reducción de emisiones se produce en las viviendas unifamiliares, alcanzando una disminución del 36%, seguidas por los hospitales donde el descenso sería de un 31 % y por los polideportivos con un 25 %. Los edificios que menos verían reducidas sus emisiones después de la incorporación de energía solar serían los centros comerciales y los edificios de oficinas de 8 plantas que solo verían disminuidas sus emisiones un 3%.

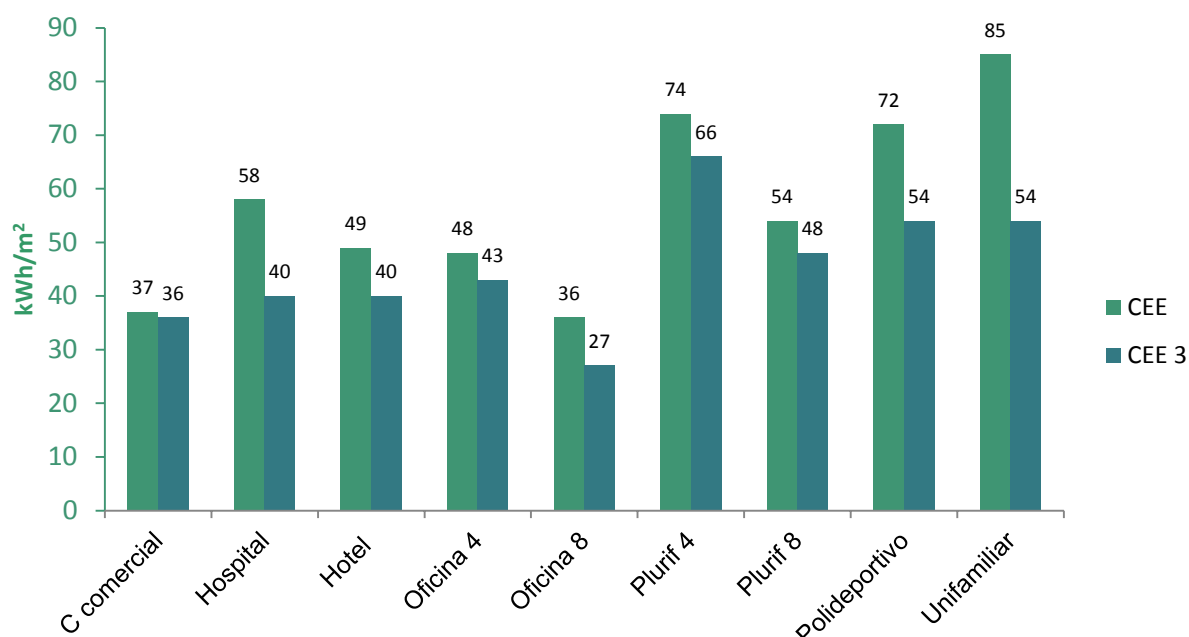


Gráfico 54: Emisiones de CO₂ para todas las edificaciones en Burgos construidas año anteriores a 1981

Si analizamos los edificios construidos en Sevilla anteriormente a 1981, la tipología edificatoria que representa una mayor reducción de emisiones son las viviendas unifamiliares con un 53 %, seguida por los hospitales y polideportivos con un 40 %. Los edificios que menores reducciones representan son los centros comerciales con un 5 % seguidos por los edificios de oficinas de 4 y 8 plantas con un 6 y 11 % de reducción.

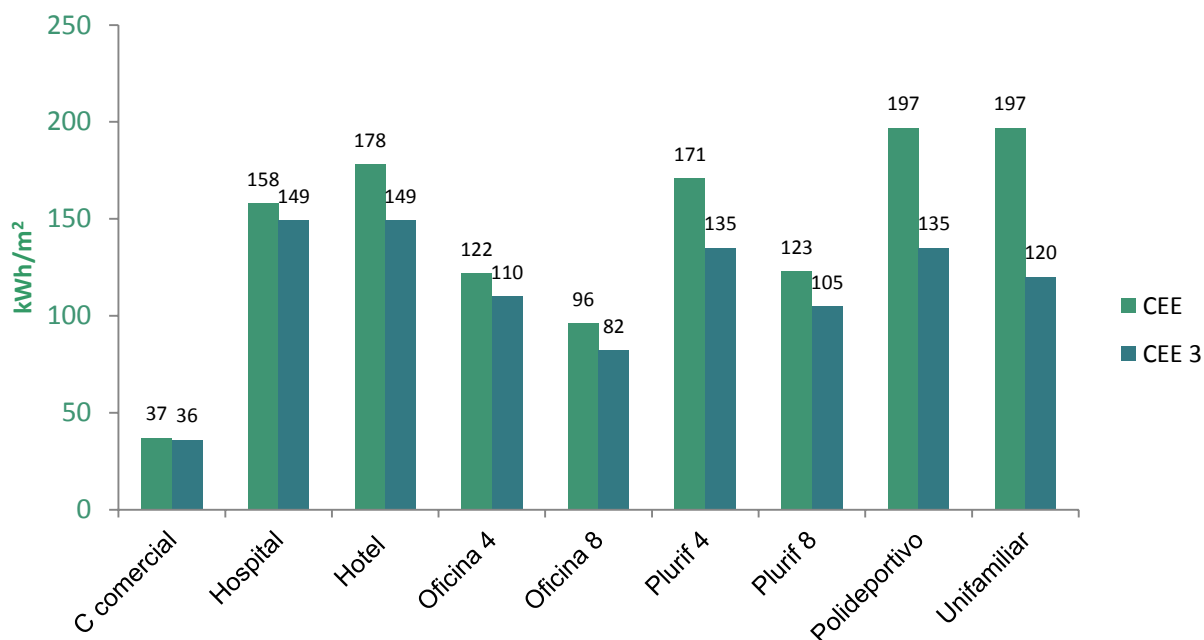


Gráfico 55: Emisiones de CO₂ para todas las edificaciones ubicadas en Sevilla construidas año anteriores a 1981

Si comparamos la reducción de emisiones agregada para todos los edificios construidos antes de 1981 con las emisiones de los construidos entre 1981 y 2006, se comprueba que la reducción obtenida en el periodo 1981-2006 es en general similar a la obtenida en el periodo anterior en todas las localizaciones excepto en el caso de Sevilla, donde la reducción de emisiones para todas las tipologías edificatorias pasa de un 14 % a un 30 %.

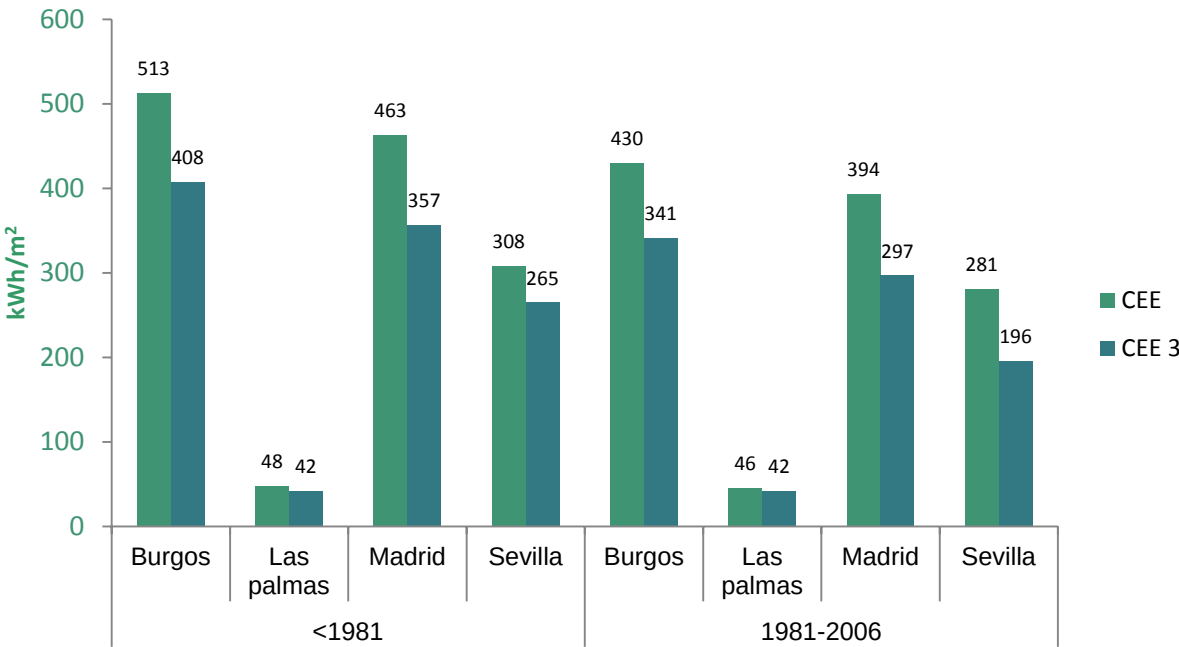


Gráfico 56: Emisiones de CO₂ totales para las localidades año anteriores a 1981 y año 1981-2006

Anexos

Anexo 1: Consumo de energía primaria no renovable, Demanda y Fracción solar promedio

Energía primaria no renovable con aportación de solar térmica para ACS para edificios construidos posterior a 2013

Localidad	Edificio	Energía primaria no renovable
Burgos	Unifamiliar	83,3B
	Plurifamiliar 4 plantas	68,1B
	Plurifamiliar 8 plantas	61,1B
	Oficina 4 plantas	111,2B
	Oficina 8 plantas	85,1B
	Hospital	54,2B
	Polideportivo	178,7B
	Hotel	82,8B
	Centro comercial	114,6B

Tabla 77: Energía primaria no renovable para la localidad de Burgos

Localidad	Edificio	Energía primaria no renovable
Madrid	Unifamiliar	69,5B
	Plurifamiliar 4 plantas	60,2B
	Plurifamiliar 8 plantas	53,6B
	Oficina 4 plantas	113,5B
	Oficina 8 plantas	93,5B
	Hospital	60B
	Polideportivo	162,7A
	Hotel	80,4B
	Centro comercial	112,7A

Tabla 78: Energía primaria no renovable para la localidad de Madrid

Localidad	Edificio	Energía primaria no renovable
Sevilla	Unifamiliar	43,1B
	Plurifamiliar 4 plantas	34,6C
	Plurifamiliar 8 plantas	29B
	Oficina 4 plantas	114,1B
	Oficina 8 plantas	102,2B
	Hospital	61,8B
	Polideportivo	166,3A
	Hotel	71,1B
	Centro comercial	101,5B

Tabla 79: Energía primaria no renovable para la localidad de Sevilla

Localidad	Edificio	Energía primaria no renovable
Las Palmas	Hotel	99,8B

Tabla 80: Energía primaria no renovable para la localidad de Las Palmas de Gran Canarias

Tablas ordenadas según la importancia de demandas, fracción solar y mejora de emisiones dependiendo de la aplicación a considerar:

Edificio	Demanda ACS + Piscina
Polideportivo	62%
Hotel	29%
Plurifamiliar 4	23%
Hospital	22%
Unifamiliar	16%
Plurifamiliar 8	15%
Oficina 8	5%
Oficina 4	4%
Centro comercial	0%

Tabla 81: Porcentaje promedio de demanda ACS + Piscina de cada edificio

Edificio	Demanda Calefacción
Unifamiliar	67%
Plurifamiliar 8	66%
Plurifamiliar 4	60%
Centro comercial	53%
Oficina 4	49%
Oficina 8	41%
Hospital	33%
Hotel	31%
Polideportivo	16%

Tabla 82: Porcentaje promedio de demanda calefacción de cada edificio

Edificio	Demanda Refrigeración
Oficina 8	54%
Centro comercial	51%
Oficina 4	47%
Hospital	45%
Hotel	40%
Plurifamiliar 8	19%
Unifamiliar	17%
Plurifamiliar 4	17%
Polideportivo	17%

Tabla 83: Porcentaje promedio de demanda refrigeración de cada edificio

Edificio	Fracción solar ACS + Piscina
Oficina 4	77%
Oficina 8	76%
Plurifamiliar 4	75%
Hospital	74%
Plurifamiliar 8	69%
Hotel	69%
Unifamiliar	67%
Polideportivo	61%
Centro comercial	57%

Tabla 84: Porcentaje promedio de fracción solar para ACS + Piscina de cada edificio

Edificio	Fracción solar Calefacción
Unifamiliar	39%
Polideportivo	23%
Plurifamiliar 4	17%
Oficina 4	16%
Plurifamiliar 8	15%
Hospital	14%
Oficina 8	11%
Hotel	9%
Centro comercial	6%

Tabla 85: Porcentaje promedio de fracción solar para Calefacción de cada edificio

Edificio	Fracción solar Refrigeración
Unifamiliar	24%
Plurifamiliar 4	6%
Plurifamiliar 8	5%
Polideportivo	3%
Oficina 4	3%
Hospital	2%
Hotel	2%
Oficina 8	0%
Centro comercial	0%

Tabla 86: Porcentaje promedio de fracción solar para Refrigeración de cada edificio

Edificio	Fracción solar total
Unifamiliar	41%
Polideportivo	40%
Plurifamiliar 4	27%
Hotel	24%
Hospital	22%
Plurifamiliar 8	19%
Oficina 4	12%
Oficina 8	7%
Centro comercial	3%

Tabla 87: Porcentaje promedio de fracción solar total para todas las aplicaciones en cada edificio

Edificio	Mejora de emisiones
Unifamiliar	38%
Hospital	24%
Plurifamiliar 4	22%
Polideportivo	18%
Plurifamiliar 8	16%
Hotel	10%
Oficina 4	8%
Oficina 8	5%
Centro comercial	2%

Tabla 88: Porcentaje promedio de mejora de emisiones según edificio

Anexo 2: Costes de inversión de las instalaciones solares

A continuación se indican los costes de inversión correspondientes a las instalaciones solares térmicas que abastecen la demanda de ACS y piscina y de las instalaciones que abastecen las demandas de ACS, calefacción y refrigeración.

Localidad	Año	Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
		Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	1	54%	1.221	17	34%	31.130
	1981-2006	1	54%	1.221	17	37%	31.130
	2007-2013	1	54%	1.221	17	34%	31.130
	>2013	1	54%	1.221	13	38%	23.806
Madrid	<1981	1	64%	1.221	10	32%	18.312
	1981-2006	1	64%	1.221	10	34%	18.312
	2007-2013	1	64%	1.221	10	37%	18.312
	>2013	1	64%	1.221	7	40%	12.818
Sevilla	<1981	1	76%	1.221	11	46%	20.143
	1981-2006	1	76%	1.221	11	51%	20.143
	2007-2013	1	76%	1.221	9	49%	16.481
	>2013 (Termo)	2	78%	2.442	8	57%	14.650
	>2013 GN	1	71%	1.221	-	-	-

Tabla 89: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en viviendas unifamiliares.

Localidad	Año	Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
		Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	10	42%	12.208	40	12%	65.923
	1981-2006	10	42%	12.208	40	13%	65.923
	2007-2013	8	32%	9.766	40	18%	65.923
	>2013	10	42%	12.208	40	33%	65.923
Madrid	<1981	10	51%	12.208	40	17%	65.923
	1981-2006	10	51%	12.208	40	18%	65.923
	2007-2013	13	60%	15.870	40	24%	65.923
	>2013	10	51%	12.208	40	36%	65.923
Sevilla	<1981	10	60%	12.208	40	28%	65.923
	1981-2006	10	60%	12.208	40	30%	65.923
	2007-2013	14	70%	17.091	40	41%	65.923
	>2013	10	60%	12.208	40	54%	65.923

Tabla 90: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en viviendas plurifamiliares de 4 plantas.

Localidad	Año	Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
		Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	13	40%	15.870	72	9%	105.477
	1981-2006	13	40%	15.870	72	10%	105.477
	2007-2013	9	31%	10.987	72	14%	105.477
	>2013	13	40%	15.870	72	20%	105.477
Madrid	<1981	14	50%	17.091	72	11%	105.477
	1981-2006	14	50%	17.091	72	12%	105.477
	2007-2013	17	60%	20.754	72	18%	105.477
	>2013	14	50%	17.091	72	23%	105.477
Sevilla	<1981	24	61%	26.369	72	19%	105.477
	1981-2006	24	61%	26.369	72	21%	105.477
	2007-2013	30	70%	32.962	72	30%	105.477
	>2013	24	61%	26.369	72	40%	105.477

Tabla 91: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en viviendas plurifamiliares de 8 plantas.

Localidad	Año	Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
		Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	2	44%	2.442	20	10%	36.624
	1981-2006	2	44%	2.442	20	12%	36.624
	2007-2013	4	63%	4.883	34	18%	56.035
	>2013	2	44%	2.442	20	17%	36.624
Madrid	<1981	2	53%	2.442	20	11%	36.624
	1981-2006	2	53%	2.442	20	11%	36.624
	2007-2013	4	73%	4.883	20	15%	36.624
	>2013	2	53%	2.442	20	10%	36.624
Sevilla	<1981	3	72%	3.662	20	10%	36.624
	1981-2006	3	72%	3.662	20	10%	36.624
	2007-2013	4	72%	4.883	20	9%	36.624
	>2013	3	72%	3.662	20	8%	36.624

Tabla 92: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en oficinas de 4 plantas.

Localidad	Año	Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
		Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	6	44%	7.325	30	5%	49.442
	1981-2006	6	44%	7.325	30	5%	49.442
	2007-2013	11	61%	13.429	25	9%	41.202
	>2013	6	44%	7.325	30	12%	49.442
Madrid	<1981	7	55%	8.546	30	6%	49.442
	1981-2006	7	55%	8.546	30	5%	49.442
	2007-2013	11	71%	13.429	42	8%	69.219
	>2013	7	55%	8.546	30	7%	49.442
Sevilla	<1981	7	61%	8.546	30	6%	49.442
	1981-2006	7	61%	8.546	30	6%	49.442
	2007-2013	9	72%	10.987	30	6%	49.442
	>2013	7	61%	8.546	30	6%	49.442

Tabla 93: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en oficinas de 8 plantas.

Localidad	Año	Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
		Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	85	60%	83.014	220	18%	282.005
	1981-2006	85	60%	83.014	220	18%	282.005
	2007-2013	85	60%	83.014	100	24%	146.496
	>2013	85	60%	83.014	100	31%	146.496
Madrid	<1981	81	70%	79.108	340	26%	373.565
	1981-2006	81	70%	79.108	330	21%	362.578
	2007-2013	81	70%	79.108	150	26%	192.276
	>2013	81	70%	79.108	150	27%	192.276
Sevilla	<1981	70	70%	68.365	176	20%	225.604
	1981-2006	70	70%	68.365	176	19%	225.604
	2007-2013	70	70%	68.365	100	16%	146.496
	>2013	70	70%	68.365	96	16%	140.636

Tabla 94: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en Hospitales.

Localidad	Año	Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
		Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	218	50%	186.294	390	30%	428.501
	1981-2006	218	50%	186.294	375	34%	412.020
	2007-2013	158	39%	135.020	350	39%	384.552
	>2013	218	50%	186.294	320	37%	351.590
Madrid	<1981	204	60%	174.330	380	37%	417.514
	1981-2006	204	60%	174.330	380	39%	417.514
	2007-2013	204	60%	174.330	370	42%	406.526
	>2013	204	60%	174.330	370	40%	406.526
Sevilla	<1981	208	70%	177.748	400	49%	439.488
	1981-2006	208	70%	177.748	400	49%	439.488
	2007-2013	208	70%	177.748	400	46%	439.488
	>2013	208	70%	177.748	400	44%	439.488

Tabla 95: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en Polideportivos.

		Aporte a ACS y Piscina			Aporte a ACS, calefacción y refrigeración		
Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	156	60%	133.311	400	18%	439.488
	1981-2006	156	60%	133.311	400	19%	439.488
	2007-2013	200	70%	170.912	500	33%	549.360
	>2013	156	60%	133.311	340	30%	373.565
Madrid	<1981	148	70%	126.475	360	16%	395.539
	1981-2006	148	70%	126.475	360	24%	395.539
	2007-2013	148	70%	126.475	300	26%	329.616
	>2013	148	70%	126.475	180	25%	230.731
Sevilla	<1981	128	70%	125.010	340	20%	373.565
	1981-2006	128	70%	125.010	340	21%	373.565
	2007-2013	128	70%	125.010	150	22%	192.276
	>2013	128	70%	125.010	140	52%	179.458
Las Palmas	<1981	115	70%	112.314	193	20%	247.395
	1981-2006	115	70%	112.314	193	19%	247.395
	2007-2013	115	70%	112.314	193	20%	247.395
	>2013	115	70%	112.314	193	21%	247.395

Tabla 96: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en Hoteles.

Localidad	Año	Nº captadores	FS ACS (%)	Coste de inversión (€)	Nº captadores	FS (%)	Coste de inversión (€)
Burgos	<1981	3	45%	3.662	65	3%	107.125
	1981-2006	3	45%	3.662	65	3%	107.125
	2007-2013	5	60%	6.104	65	3%	107.125
	>2013	3	45%	3.662	65	3%	107.125
Madrid	<1981	3	54%	3.662	65	2%	107.125
	1981-2006	3	54%	3.662	65	3%	107.125
	2007-2013	6	70%	7.325	65	3%	107.125
	>2013	3	54%	3.662	65	3%	107.125
Sevilla	<1981	3	60%	3.662	65	3%	107.125
	1981-2006	3	60%	3.662	65	2%	107.125
	2007-2013	5	74%	6.104	65	2%	107.125
	>2013	3	60%	3.662	65	2%	107.125

Tabla 97: Coste de inversión de la instalación solar térmica necesaria para abastecer las demandas de ACS y piscina y de ACS, calefacción y refrigeración en Centros Comerciales.



IDAE, Calle Madera, 8, E-28004, Madrid, Tel.: 91 456 49 00
Fax: 91 523 04 14, email: comunicacion@idae.es // www.idae.es